

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní



Regenerace, revitalizace a energetická náročnost obytných budov

Regeneration and Revitalization of Residential
Houses and the Energy Performance

Mgr. Sylva Kyselová

Vědecké spisy Fakulty strojní

Edice: Autoreferáty disertačních prací, sv. 348

2019

Anotace disertační práce

V průběhu svého doktorského studia jsem se zabývala energetickou náročností bytových domů.

Po druhé světové válce došlo k rozsáhlé výstavbě domů určených k bydlení. Ve městech se jednalo zejména o panelovou výstavbu bytových domů, na vesnici o stavbu rodinných domů.

V období osmdesátých let minulého století pak dochází k rozsáhlé obnově staršího bytového fondu, tzv. regenerace a k úpravě prostředí v bytech, tzv. revitalizace. U nově postavených bytů se začal prosazovat požadavek snížení energetické náročnosti při provozu bytového fondu a později také ke zlepšení tepelné izolace obvodových stěn, oken a dveří až směrem k co nejnížší spotřebě energií, domy a byty s téměř nulovou nebo minimální spotřebou energie. Dochází také k podstatnému snížení spotřeby neobnovitelných zdrojů energie pro zásobování bytových jednotek a postupnému zvyšování podílu energie z obnovitelných primárních zdrojů.

Ve své disertační práci se zabývám stanovením spotřeby energie pro bytové domy z obecného pohledu. Uvádím zde také přehled zdrojů tepla a elektrické energie pro zásobování bytových domů.

V druhé části disertační práce se zabývám hodnocením energetické náročnosti konkrétního rodinného domu a to jednak z teoretického hlediska, jednak porovnáním skutečné spotřeby energií s výpočty.

Inovativní je kapitola disertační práce, která se týká teoretických výpočtů a porovnání s experimenty. Jedná se o stabilitu tepelného režimu rodinného domu, respektive dynamiku tepelného chování rodinného domu.

Na základě hodnocení skutečné potřeby tepla pro konkrétní rodinný dům se v práci zaměřuji na snížení možnosti spotřeby tepla a elektrické energie novými prostředky. Jedná se o záměnu klasického kotle kotlem kondenzačním, použití tepelného čerpadla pro dodávku tepla, použití mikrokogenerační jednotky pro zajištění základní dodávky tepla a elektrické energie a možnosti využití sluneční energie.

Annotation of dissertation thesis

During my postgraduate study I researched the topic of energy intensity of apartment buildings.

A widespread construction of residential houses was initiated after the World War II. Erection of prefabricated houses prevailed in cities while construction of family houses was preferred in rural areas.

Extensive renovation of older apartment stock, also known as regeneration, was undertaken as well as adjustment of the housing habitat, known as revitalization. A reduction of energy demand of the housing stock was highlighted for the newly constructed apartments and, later on, also an improvement in thermal insulation of external walls, doors and windows leading to the lowest possible energy consumption and to houses and apartments with almost zero or minimal energy consumption. At the same time, considerable reduction was observed in consumption of non-renewable energy supply sources for apartment units and gradual increase in the share of renewable energy primary sources.

My dissertation thesis addresses a common view of determination of energy consumption in apartment buildings. Moreover, the thesis presents an overview of heat and electric energy supply sources for apartment houses.

The second part of the thesis addresses energy intensity evaluation of a particular family house both from a theoretical point of view as well as from the point of view of a comparison of actual and calculated energy consumption.

The thesis contains an innovative chapter that performs theoretical calculations and their comparison with experiments in assessment of thermal regime stability of the family house and dynamics of its thermal performance.

Based upon the evaluation of actual heat demand of the particular family house, the thesis focusses on possibility to reduce heat and electric energy consumption by new techniques, such as replacement of a conventional boiler by a condensing boiler, application of a heat pump for heat supply, application of a microgeneration unit for basic supply of heat and electric energy, as well as possibilities of solar energy exploitation.

Seznam použitého značení

A	Plocha	[m ²]
A _k	Plocha jednotlivých částí obálky budovy	[m ²]
A _b	Celková plocha obálky budovy	[m ²]
b	Šířka	[m]
c	Měrná tepelná kapacita	[J/(kg.K)]
c _{vzd}	Měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/(kg.K)]
d	Tloušťka	[m]
E	Celková měrná spotřeba všech druhů energie	[kWh/(m ² .rok)]
e _k	Korekční koeficient stěny budovy na světovou stranu	[-]
f	Korekční faktor	[-]
G	Globální sluneční záření	[MJ/(m ² .měsíc)]
H _T	Dávka slunečního ozáření	[kWh/(m ² .den)]
m	Hmotnost	[kg]
n	Intenzita větrání	[h ⁻¹]
Q	Množství energie	[J, Wh]
\dot{Q}	Tepelný příkon pro vytápění budovy (dle ČSN 38 3350)	[W]
q ₀	Tepelná charakteristika budovy	[W/(m ³ .K)]
P	Výkon, příkon	[W]
S	Plocha povrchu zdiva	[m ²]
t	Čas	[s]
Δt	Časový interval	[s]
U	Součinitel prostupu tepla	[W/(m ² .K)]
V	Objem	[m ³]
V _b	Objem obestavěného prostoru	[m ³]
Δ	Rozdíl dvou veličin	[-]
δ	Poměrný teplotní rozdíl	[-]
η	Účinnost	[-]
θ	Celsiova teplota	[°C]
θ _e	Teplota venkovního vzduchu	[°C]
θ _{em}	Teplota venkovního vzduchu při které se začíná vytápět	[°C]
θ _{ev}	Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období	[°C]
θ _i	Teplota vnitřního vzduchu	[°C]
θ _{ep}	Teplota vnějšího povrchu stěny	[°C]
Δ	Rozdíl dvou veličin	[-]
v	Poměrný počet dnů	[-]

ρ	Objemová hmotnost	[kg/m ³]
Φ	Tepelný tok	[W]
Φ_{Ti}	Tepelný tok prostupem tepla stěnou	[W]
Φ_T	Tepelná ztráta obálkou budovy	[W]

Poznámka:

Jedná se o hlavní značení veličin. Podrobnější identifikace je uvedena v textu.

Seznam použitých zkratek

ENB	Energetická náročnost budov
G	Globální záření
H	Dávka slunečního záření
KGJ	Kogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla
PEZ	Primární energetický zdroj
RD	Rodinný dům
TČ	Tepelné čerpadlo
UE	Užitá energie
DP	Disertační práce
ZP	Zemní plyn
OK	Obyčejný plynový kotel
KK	Kondenzační plynový kotel

Obsah

1	Úvod	6
1.1	Cíl disertační práce	6
1.2	Metody zpracování disertační práce	6
1.3	Regenerace, revitalizace a energetická náročnost bytového fondu	7
2	Energetická náročnost obytných budov obecně	8
2.1	Metody stanovení potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody	8
2.2	Hodnocení energetické náročnosti budov	9
3	Zdroje tepla a elektrické energie	11
3.1	Centralizovaný způsob výroby	11
3.2	Decentralizovaný způsob výroby	11
4	Energetická náročnost rodinného domu	12
4.1	Charakteristika obytného objektu	12
4.2	Výpočet tepelných ztrát objektu	13
4.3	Průběh ročního trvání tepelného příkonu RD	14
5	Skutečná spotřeba energie pro rodinný dům	15
6	Tepelná stabilita objektu	17
6.1	Stanovení základních rovnic pro výpočet průběhu teploty vnitřního vzduchu	17
6.2	Porovnání teorie se skutečností	19
6.3	Průběh vnitřních teplot vzduchu po opětovném uvedení zdroje tepla do provozu	20
6.4	Shrnutí výsledků experimentu	22
6.5	Průběh teploty po přerušeném vytápění, včetně větrání vnitřních prostorů	22
6.6	Vliv materiálu obvodového zdiva na akumulaci tepla	23
7	Možnosti snížení spotřeby energie RD	25
7.1	Termovizní měření tepelných ztrát RD	25
7.2	Možnosti snížení spotřeby energie zateplením stěn	26
7.3	Výměna stávajícího kotle ÚT kotlem kondenzačním s akumulací tepla	27
7.4	Tepelné čerpadlo vzduch – voda	29
7.5	Mikrokogenerační jednotky	31
7.6	Využití solární energie	35
8	Energetické a ekonomické vyhodnocení možných alternativ	39
8.1	Porovnání energetické náročnosti jednotlivých variant	39
8.2	Ekonomické hodnocení	40
8.3	Celkové zhodnocení z energetického a ekonomického hlediska	40
9	Závěr	41

1 Úvod

Bydlení patří, vedle dobrého zdraví, zajištění práce a stabilních finančních prostředků, mezi základní důležité oblasti lidské činnosti. Oblast bydlení je možno charakterizovat ve dvou částech:

- zajištění vhodného obydlí odpovídajícího možnostem člověka, resp. jeho rodiny,
- vytvoření vhodného příjemného prostředí k odpočinku a pobytu. Jedná se také o zajištění potřebného množství energií k vytvoření požadovaných podmínek.

1.1 Cíl disertační práce

Ve své disertační práci se zabývám energetickou náročností bydlení a zajištění energiemi v souvislosti s regenerací a revitalizací obytných budov. Práce obsahuje dvě části, a to část obecnou a experimentální.

V obecné části uvádím základní zákony pro stanovení tepelných ztrát objektů, obecné podmínky pro stanovení energetických nároků na přípravu teplé vody, větrání a běžnou činnost obyvatel, jako vaření, praní, uchovávání potravin, svícení a další činnosti, jako práce s výpočetní technikou apod. Uvádím zde historický vývoj při snižování tepelných ztrát objektů a prostředky k dosažení tohoto cíle. Dále je práce zaměřena na teoretické zpracování energetických potřeb pro konkrétní rodinný dům.

V experimentální části se zabývám výpočty energetické náročnosti konkrétního rodinného domu a porovnáním výpočtů se skutečností, zejména pokud se jedná o stanovení potřeby tepla a elektrické energie. Hodnocení je provedeno jednak na základě dlouhodobého sledování spotřeby tepla a elektrické energie v tomto rodinném domu, jednak s využitím údajů o tepelných ztrátách objektu pomocí termovizního měření. V další části práce jsou uvedeny opatření ke snížení spotřeby tepla nižšími tepelnými ztrátami jednotlivých částí povrchu domu.

V disertační práci jsou také uvedeny i jiné možnosti způsobů dodávky tepla, než je stávající dodávka tepla klasickým kotlem do otopného systému a pro přípravu teplé vody, jako jsou velmi populární tepelné čerpadlo, které bere teplo ze vzduchu, vody a země, mikrokogenerace a využití sluneční energie v solárních panelech a fotovoltaických článcích. V závěru práce je provedeno orientační vyhodnocení těchto možných způsobů dodávky energií do rodinného domku. Je také provedeno energetické a ekonomické zhodnocení navržených opatření.

1.2 Metody zpracování disertační práce

Při zpracování disertační práce jsem vycházela z poměrně obsáhlé dokumentace, která byla za poslední období publikována. V tomto období také došlo k poměrně rozsáhlé obnově legislativy, případně i celé řady nových zákonů, vyhlášek a ČSN v energetické náročnosti obytných budov.

V poslední době také dochází k rozsáhlé implementaci příslušných norem na základě rozhodnutí orgánů Evropské unie.

Na základě těchto podkladů jsem přistoupila k výběru konkrétního obsahu disertační práce, s ohledem také na praktické možnosti daných prostředků, a to na hodnocení energetické náročnosti určitého rodinného domu.

Jak má být provedeno v odborné práci, zaměřila jsem se jednak na teoretické zpracování dané problematiky a porovnání teoretických výsledků se skutečností. To bylo provedeno na konkrétních experimentech, např. průběžného dlouhodobého měření spotřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody a měření teplot vnějšího prostředí a uvnitř domu.

V jedné části práce jsem se zabývala kromě statiky a stability tepelných poměrů rodinného domu také málo obvyklému řešení dynamiky tepelných poměrů při náhlém vypnutí dodávky tepla a následném zátopu na obvyklé tepelné podmínky.

V závěrečné části práce, jako možná opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti objektu, jsem využila možné dostupné podklady od dodavatelů zařízení, případně na internetu. Zúčastnila jsem se také několika seminářů, pořádaných Společností pro techniku prostředí pro projektanty v této oblasti.

1.3 Regenerace, revitalizace a energetická náročnost bytového fondu

Životnost panelových domů, které tvoří převážnou část domů, jež byly v letech 1958 až 1900 postaveny, se uvádí takto:

Celková životnost panelových i ostatních domů se uvádí cca 100 let. Tato životnost se však netýká celé stavby, ale pouze té části, která představuje nosnou konstrukci domu. Ostatní části stavby mají podstatně kratší životnost, a to dle charakteru jednotlivých prvků značně odlišnou.

Regenerace obytných domů

Pod tímto pojmem se rozumí práce související s obnovou a udržením životnosti bytových domů, postavených v období jejich prudké výstavby. Jedná se v podstatě o:

- odstranění konstrukčních závad a nedostatků v průběhu výstavby,
- odstranění důsledků zanedbané údržby v průběhu až 50 let,
- výměna bytových jader, instalací, oken, dveří a podlah.

Je možno konstatovat, že velká část bytového fondu již v posledních letech touto fází regenerace prošla, resp. prochází i v souvislosti s druhou fází regenerace.

Revitalizace obytných domů

V tomto případě se jedná o celkovou modernizaci, nejen o obnovu původního stavu, ale zajištění modernizace s ohledem na nové požadavky, související s vývojem společnosti a zlepšováním životního prostředí. Týká se to i snižování energetických nároků na bydlení, zejména také v souvislosti s prudkým zvyšováním cen energií v posledních dvaceti letech.

Jedná se také o změny v plošných i technických parametrech, změny dispozičních řešení bytů, jejich velikosti i počtu bytů.

Druhým směrem revitalizace je zajištění prostředí bydlení, tedy změny v zajištění potřebných energií pro topení, větrání, klimatizaci a pro provoz domácích spotřebičů z hlediska minimalizace energetické spotřeby.

Snižování energetické náročnosti bydlení

V posledních letech v rámci snížení energetické náročnosti na spotřebu, výrobu a dodávku tepla (snížení tepelných ztrát v rozvodech) jsou změny dodávky tepla v těchto směrech:

- zateplení obvodového pláště budov a snížení tepelných ztrát,
- decentralizace systému KVET blíže spotřební oblasti, případně domovních bloků
- omezení závislosti na externích zdrojích energie, např. mikrokogenerace, využití tepelných čerpadel, využití sluneční energie (sluneční panely, fotovoltaické články).

Podle potřeby tepla na vytápění na m² podlahové plochy za rok je možno stanovit kategorie budov podle energetické náročnosti. Tak ještě staré budovy mají potřebu tepla na vytápění i více než 150 kWh/(m².rok), tepelně úsporná budova méně než 80 kWh/(m².rok), zatímco nízkoenergetický dům má potřebu tepla méně než 50 kWh/(m².rok). Vyskytují se také domy tzv. pasivní nebo s nulovou spotřebou tepla k vytápění.

2 Energetická náročnost obytných budov obecně

Obytné budovy můžeme v podstatě rozdělit do dvou kategorií:

- 1) **rodinné domy** – jedno a dvougenerační (současný trend je jednogenerační jednopodlažní, příp. i tzv. bungalovy),
- 2) **obytné domy** – zajišťují bydlení většímu počtu rodin a obyvatel.

Dodávaná energie se v podstatě potřebuje pro tyto účely:

- tepelná energie, potřebná na krytí tepelných ztrát obytného objektu,
- tepelná energie na přípravu teplé vody,
- tepelná, resp. elektrická energie na větrání, případně klimatizaci objektu,
- energie na ostatní potřeby.

2.1 Metody stanovení potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody

Potřeba tepla pro vytápění

Tato část energetické potřeby tvoří významnou složku v celkové energetické náročnosti objektu.

Potřebu tepla lze dělit do dvou kategorií podle závislosti:

- 1) závislá na teplotě ovzduší, tj. pro vytápění, větrání a klimatizaci,
- 2) prakticky nezávislá na teplotě ovzduší: příprava teplé vody, vaření a příprava pokrmů.

Základní je výpočet tepelných ztrát budovy. Pro výpočty platí celá řada norem, základní je ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu.

V této nové normě je základní rovnice pro výpočet tepelných ztrát prostupem ve tvaru

$$\Phi_T = f_K \cdot A_K \cdot U_K \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad [W] \quad (2.1)$$

Pro orientační výpočet se používá tzv. obálková metoda. Jedná se v podstatě o použití výpočtu dle rovnice (2.1) s tím, že se vyhodnocuje postupně přestup tepla jednotlivými vnějšími stěnami (bez prosklených ploch), stropy a podlahou, okny, dveřmi apod.

Průběh okamžitého tepelného příkonu

Pro vyhodnocení celoroční spotřeby tepla pro vytápění, přípravu teplé vody a větrání je důležitý průběh tepelného příkonu v intervalu celého roku. Tento průběh stanoví, po jakou dobu v roce je tepelný příkon vyšší než příkon uvedený v daném čase od počátku roku. Způsob stanovení je podle ČSN 38 3350 Zásobování teplem.

Okamžitý tepelný výkon je možno pak stanovit podle rovnice:

$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_{max} \cdot \frac{\theta_i - \theta_{es}}{\theta_i - \theta_e} \quad [W] \quad (2.2)$$

Maximální tepelný výkon se stanoví podle výpočtové nejnižší venkovní teploty θ_e . Ta je pro oblast Ostravy -15°C . Ve své disertační práci tuto veličinu používám zejména v kapitole 10, při výpočtu celkové dodané energie jednotlivými tepelnými agregáty v průběhu roku.

Podle dalších ČSN se určuje potřeba tepla pro přípravu teplé vody a větrání podle konkrétních podmínek obytné budovy a počtu osob.

2.2 Hodnocení energetické náročnosti budov

Energetickou náročnost obytných budov je možno porovnávat ze dvou hledisek:

- 1) V místě připojení obytné budovy na zdroj energie (externí z centrálních zdrojů nebo z místního zdroje energie). Způsob hodnocení podle odstavce 1 je stanoven ve vyhlášce č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.
- 2) V místě výskytu primárního zdroje užitého druhu energie – neobnovitelná, nebo obnovitelná primární energie. Způsob hodnocení podle odstavce 2 vychází z přepočtu potřeby energie v místě užití na primární energetické zdroje. Při procesu těžby (získání z přírody) primární energie, transformaci, dopravě do místa užití a při vlastním zpracování v místě užití dochází ke ztrátám, resp. další potřebě energie (na příklad při těžbě a dopravě).

Hodnocení podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov

V poslední době se vyhodnocuje tzv. energetická náročnost budov podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31 EU ES o energetické náročnosti budov. Pro ČR je tato tematika zpracována ve Vyhlášce č. 78/2013 Sb. [31]. Vyhláška také navazuje na zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění zákona č. 165/2012 a zákona č. 318/2012 Sb. Vyhláška mimo jiné stanovuje metodu výpočtu energetické náročnosti budov (ENB) a nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budov. V § 3 vyhlášky odst. 1 jsou stanoveny ukazatele energetické náročnosti budovy:

- a) celková primární energie za rok,
- b) neobnovitelná primární energie za rok,
- c) celková dodaná energie za rok,
- d) dílčí dodané energie pro technické systémy - vytápění, chlazení, větrání, úpravy vlhkosti vzduchu, přípravy teplé vody a osvětlení za rok,
- e) průměrný součinitel prostupu tepla,
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- g) účinnost technických systémů.

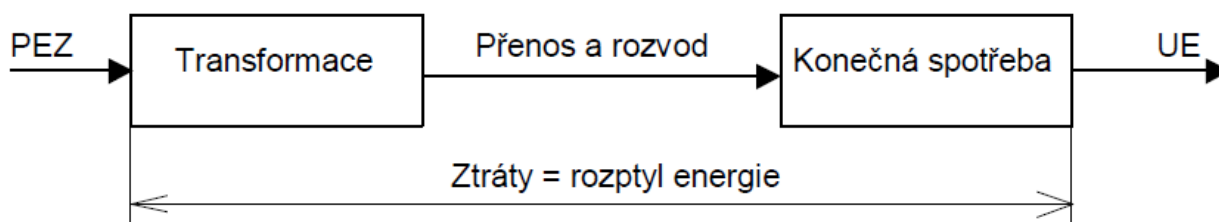
Při hodnocení energetické náročnosti nové, nebo stávající budovy se porovnávají vypočtené hodnoty dané budovy s hodnotami tzv. referenční budovy, u které jsou hodnoty pro výpočet jednotlivých parametrů stanoveny (viz např. ČSN 73 0540–2, tabulka 3).

Obsahem zpracování energetické náročnosti je bilanční hodnocení založené na výpočtech energie užívané, nebo předpokládané k užívání v budově pro vytápění, větrání, chlazení, klimatizaci, přípravu teplé vody a osvětlení při standardním užívání budovy.

V konečném vyjádření se hodnotí celková měrná spotřeba všech druhů energie spotřebovaných v objektu E ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$) – m^2 celkové podlahové plochy objektu a průměrného součinitele prostupu tepla U_e ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) v porovnání s hodnotami vypočtenými pro referenční budovu (E_R , U_R).

Hodnocení z hlediska palivoenergetické náročnosti bydlení

Tento způsob hodnocení vychází z přepočtu potřeby energie v místě užití na primární energetické zdroje [10]. Při procesu těžby (získání z přírody) primární energie, transformaci, dopravě do místa užití a při vlastním zpracování v místě užití dochází ke ztrátám, resp. další potřebě energie, např. při těžbě a dopravě. Schéma tohoto procesu je na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1- Schéma transformace a užití energií

Celkovou účinnost procesu zušlechťování, rozvodu a užití energie je možno vyjádřit takto:

$$\eta_c = \frac{UE}{PEZ} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.3)$$

Převrácená hodnota je tzv. měrná spotřeba energie

$$e_c = \frac{1}{\eta_c} = \frac{PEZ}{UE} \quad [GJ/GJ] \quad (2.4)$$

V podstatě je tento způsob přepočtu užití energie na primární zdroje neobnovitelné, resp. obnovitelné stanoven ve výše uvedené Vyhlášce č. 78/2013 Sb., § 3, odst. a, b. V této vyhlášce je přepočet dodané energie podle jednotlivých druhů, tj. vlastně měrná spotřeba primární energie podle rovnice 2.4 zjednodušen. Nazývá se faktor primární energie, resp. faktor neobnovitelné primární energie. Hodnoty jsou uvedeny v Příloze č. 3 dř. uvedené vyhlášky.

Stanovení úspory energie při kombinované výrobě proti oddělené výrobě elektrické energie a tepla.

Spotřeba dodané energie v palivu při oddělené výrobě tepla elektrické energie

$$Q_{pi} = e_t \cdot Q_t + e_{el} Q_{el} \quad [GJ] \quad (2.5)$$

Spotřeba dodané energie v palivu při kombinované výrobě tepla elektrické energie

$$Q_{pk} = e_c \cdot (Q_t + Q_{el}) \quad [GJ] \quad (2.6)$$

Úspora energie při výroba stejného množství tepelné energie Q_t a elektrické energie Q_{el} v kogenerační jednotce je potom

$$\Delta Q_{pk} = Q_{pi} - Q_{pk} \quad [GJ] \quad (2.7)$$

resp. procentuální úspora paliva při zavedení kogenerace proti oddělené výrobě je

$$\Delta q_{pk} = \frac{\Delta Q_{pk}}{Q_{pk} + Q_{pel}} \cdot 100 \quad [GJ] \quad (2.8)$$

3 Zdroje tepla a elektrické energie

Potřebná energie pro zásobování bytových domů je v podstatě tepelná energie,

- elektrická energie.

Podle způsobu transformace těchto energií z primárních energetických zdrojů lze rozlišit:

- centralizovaný způsob výroby (transformace),
- decentralizovaný způsob výroby.

3.1 Centralizovaný způsob výroby

Podle provedení energetického zařízení rozlišujeme:

a) izolovaný způsob výroby

- výroba tepla - parní a horkovodní nebo teplovodní výtopny (kotelny)
- výroba elektrické energie v kondenzační elektrárně

b) kombinovaná výroba tepla a elektrické energie

- parní teplárny s protitlakovými a odběrovými kondenzačními parními turbínami,
- kogenerační jednotky se spalovací turbínou a kotlem na odpadní teplo,
- kogenerační jednotky se spalovacími motory a výměníky tepla,
- paroplynové elektrárny se spalovací turbínou, kotlem na odpadní teplo a parní turbínou s dodávkou tepla do rozvodu

Při hodnocení energetické náročnosti bydlení podle vyhlášky 78/2013 se zásadně rozlišují jako primární zdroje energie:

- 1) **neobnovitelné** – paliva pevná, kapalná a plynná, jaderná energie,
- 2) **obnovitelné** – biomasa, bioplyn, vodní, větrná a sluneční energie, využití tepla vzduchu, vody a půdy.

3.2 Decentralizovaný způsob výroby

Lokální topidla - jedná se v podstatě o topidla na pevná, kapalná a plynná paliva, která jsou umístěna přímo v jednotlivých bytech, respektive místnostech.

Kotle ústředního vytápění (ÚT) - Tento systém je využíván především pro rodinné domy jedno i vícepodlažní. Pevné, příp. plynné palivo se spaluje v kotli a vzniklé teplo se předává vodě, kterou se vyhřívá topný systém radiátorový, v poslední době také podlahový (nizkoteplotní systém vytápění). Trendem poslední doby jsou na trhu kotle kondenzační. U nich se část předaného tepla získává kondenzací páry ve spalínách. Dochází k vychlazení spalin pod rosný bod.

Tepelná čerpadla - Tepelné čerpadlo je v podstatě chladicí kompresorové zařízení s tím rozdílem, že se ve výparníku využívá pro odpaření chladiva oběhu tepelného čerpadla zmíněné odpadní teplo vzduchu. Odpařené chladicí medium kompresorem zvyšuje tlak a teplotu, páry se přehřívají a vedou se do kondenzátoru, kde se tepelná energie chladiva předává topnému mediu, např. v systému CZT (centrální zásobování teplem) pro vytápění a klimatizaci objektů.

Mikrokogenerace - Jedná se v podstatě o decentralizovaný systém kombinované výroby elektrické energie a tepla s využitím spalovacích motorů s vnitřním nebo vnějším spalováním (příp. na principu Stirlingova motoru), příp. s palivovými články.

Tento systém je zejména výhodné kombinovat s tepelnými čerpadly, kde vyrobená elektrická energie z kogenerační jednotky se použije k pohonu tepelného čerpadla. Tím se dosahuje vysoké účinnosti vzhledem ke spotřebě primárních neobnovitelných zdrojů energie.

Obnovitelné zdroje energie - Jedná se zejména o tyto zdroje:

- a) biopalivo – jako primární zdroj, tj. záměrně pěstovaná biomasa, nebo jako sekundární zdroj energie – bioplyn - z čistíren odpadních vod, skládek odpadů a zpracování odpadů zemědělské výroby.
- b) využití tepelného potenciálu půdy, vzduchu a podpovrchových, resp. podzemních vod prostřednictvím tepelných čerpadel voda – voda, vzduch – voda, půda – voda, resp. využití geotermální energie.
- c) využití tepelného potenciálu slunečního záření prostřednictvím slunečních panelů, resp. fotovoltaických článků.
- d) využití potenciálního spádu vodních toků ve vodních elektrárnách
- e) využití větrné energie ve větrných elektrárnách.

4 Energetická náročnost rodinného domu

V další části disertační práce se zabývám stanovením energetické náročnosti konkrétního rodinného domku a možnostmi jejího snížení. Energetická spotřeba je stanovena teoreticky výpočtem a experimentálně na základě dlouhodobého sledování spotřeby tepelné a elektrické energie, v kombinaci jednorázových měření.

4.1 Charakteristika obytného objektu

Zkoumaný rodinný domek je jednopodlažní, nepodsklepený, postavený na betonové základové desce. Střešní krytina je se sklonem 13°, podkroví je nad tepelně izolovaným stropem.

Rozměry objektu:

Čistá podlahová plocha je 76,94 m².

Zastavěná plocha vč. přístavku pro automobil a veranda je cca 110 m².

Světlná výška je 2,63 m.

Stěny jsou z tvárnic YTONG - tloušťka d = 0,375 m.

Okna jsou plastová, čiré dvojsklo.

Vstupní dveře jsou dřevěné se skleněnou vložkou.

V zastavěné ploše domu jsou tyto místnosti: kuchyň a jídelní kout, obývací pokoj, 3 pokoje, koupelna a WC, hala a zádveří.

Celkem je 8 oken, z toho 4 jednoduchá okna. Vstupní dveře jsou dřevěné s prosklením, dveře z obývací místnosti na terasu jsou plastové a prosklené.

V prostoru obytné místnosti je umístěn krb na pevné palivo s odtahem do komína. Vytápění je ústřední, zajišťované plynovým turbokotlem s přímým ohřevem teplé vody.

4.2 Výpočet tepelných ztrát objektu

Výpočet je proveden tzv. obálkovou metodou podle ČSN EN 12831 zjednodušenou metodou.

$$\Phi_T = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (4.1)$$

	A_k [m ²]	U_k [W/(m ² .K)]	θ_e [°C]	$\theta_{i,j}$ [°C]	$\Phi_{T,i}$ [W]	Přirážka e	$e \cdot \Phi_{T,i}$ [W]
Severovýchodní strana							
stěna	20,09	0,202	-15	22	150,2	1,1	165,2
okna	0	2,9	-15	22	0,0	1,1	0,0
Celkem					150,2		165,2
Jihovýchodní strana							
stěna	28,71	0,202	-15	22	214,6	1,05	225,3
okna	4,05	2,9	-15	22	434,6	1,05	456,3
dveře	2	4,7	-15	22	347,8	1,05	365,2
Celkem					996,9		1 046,8
Jihozápadní strana							
stěna	18,43	0,202	-15	22	137,7	1,0	137,7
okna	2,23	2,9	-15	22	239,3	1,0	239,3
dveře	2	4,7	-15	22	347,8	1,0	347,8
celkem					724,8		724,8
Severozápadní strana							
stěna	28,96	0,202	-15	22	216,4	1,0	216,4
okna	5,805	2,9	-15	22	622,9	1,0	622,9
Celkem					839,3		839,3
Podlaha	77,32	0,556	10	22	515,9	1,0	515,9
Strop	77,32	0,248	-6	22	536,1	1,0	536,1
Tepelná ztráta celkem					3 763,3		3 828,1

Tabulka 4.1 - Výpočet tepelné ztráty budovy podle parametrů vyzdívky YTONG.

Celková plocha obálky budovy je 233,05 m²

Průměrný součinitel prostupu tepla je $U_{em} = 3828,1/(233,05 \cdot 37) = 0,444 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

Maximální tepelný příkon pro nejnižší výpočtovou teplotu pro pokrytí tepelných ztrát RD je 3,828 kW.

Podobným způsobem je v dizertační práci proveden výpočet tepelné ztráty s hodnotami součinitelů prostupu tepla referenční budovy požadované a doporučené. Porovnání s hodnotami prostupu tepla Φ_{Ti} [W] a průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} pro tyto tři druhy zateplení je uvedeno v tabulce 4.2.

Celkem W	3 828,1	2 176,2	3 112,8
U_{em}	0,444	0,252	0,361
% proti Ytongu		56,75	81,3

Tabulka 4.2 – Porovnání hodnot prostupu tepla

Podle vyhlášky č. 78/2013 Sb., odstavec 6, je požadovaná základní hodnota průměrného součinitele prostupu tepla pro jednozonovou budovu $U_{em} = 0,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$. Podle přílohy č. 2 uvedené vyhlášky je tedy možno zařadit uvedený rodinný dům do klasifikační třídy C – úsporná.

Výpočet potřeby tepla pro přípravu teplé vody

Při výpočtu potřeby tepla pro ohřev vody uvažuji podle ČSN EN 15 316-3-1:

- průměrná spotřeba vody 40 litrů na osobu a den,
- teplota ohřáté vody 60°C, teplota studené vody 13,5°C.

Výpočtový tepelný příkon k ohřevu teplé vody bude:

$$\Phi_{TV} = 40.4 \cdot 160. (60-13,5).2/(24.3 \cdot 600) = 179 \text{ W}$$

Potřebný tepelný příkon pro ohřev teplé vody pro dvě osoby činí 180 W.

Potřeba tepla pro pokrytí tepelných ztrát větráním:

Větrání objektu je přirozené infiltrací a podle potřeby otvíráním ventilací oken. Sledovaný RD má celkový obestavěný objem

$$V = 76,94 \cdot 2,63 = 202,3 \text{ m}^3$$

Uvažuji, s ohledem na skutečnost, že budovu obývají 2 osoby přerušovaně, intenzitu větrání v hodnotě 0,3 h⁻¹.

Potřebný tepelný příkon pro pokrytí tepelné ztráty větráním je vypočten jako:

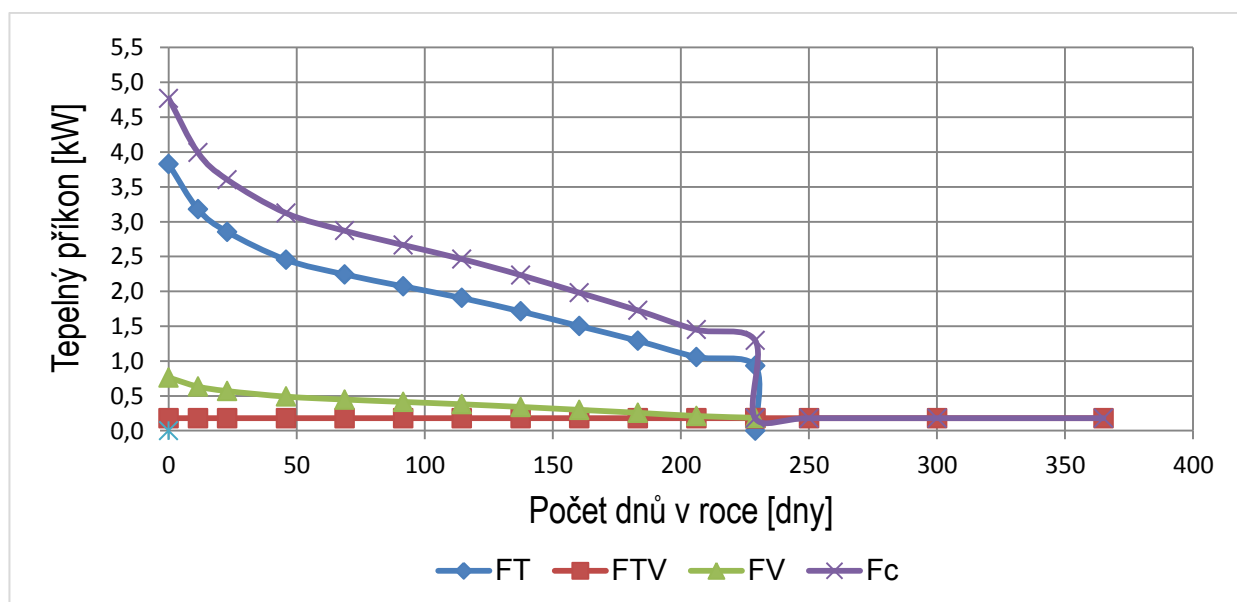
$$\Phi_V = 0,34.0,3.202,3.(22+15) = 763 \text{ W}$$

Výpočtový potřebný tepelný příkon ze zdroje tepla pro pokrytí tepelných ztrát prostupem tepla, k ohřevu teplé vody a větrání je:

$$\Phi_c = 3 \cdot 828 + 180 + 763 = 4 \cdot 771 \text{ W} = 4,771 \text{ kW} \quad (4.2)$$

4.3 Průběh ročního trvání tepelného příkonu RD

Na základě trvání teplot v průběhu roku podle ČSN 38 3350, příloha 5, pro výpočtový tepelný příkon 4,771 kW a potřebné tepelné příkony pro topení, přípravu teplé vody a větrání je možno sestavit diagram ročního trvání tepelného příkonu – obrázek 4.1.



Obrázek 4.1 - Diagram ročního trvání tepelného příkonu RD

kde FT je Φ_T tepelný příkon pro pokrytí tepelných ztrát prostupem tepla,
 FTV je Φ_{TV} tepelný příkon pro přípravu teplé vody,
 FV je Φ_V tepelný příkon pro větrání,
 F_c je Φ_c celkový tepelný příkon.

Plocha pod jednotlivými křivkami vyjadřuje celkovou roční potřebu tepla a potřebu tepla pro dílčí hodnoty.

5 Skutečná spotřeba energie pro rodinný dům

V uvedeném rodinném domku se téměř 10 let sleduje a vyhodnocuje spotřeba plynu, vody a elektrické energie. Dále jsou zde také sledovány teploty uvnitř hlavní místnosti, příp. i vedlejších místností a venkovní teploty.

Teploty jsou sledovány 3x denně v 7:00 hod., 14:00 hod. a 21:00 hod. a vyhodnocována denní a týdenní průměrná venkovní teplota.

Jednou za týden jsou odečítány hodnoty spotřeby zemního plynu, elektrické energie a pitné vody. Z toho je vyhodnocen průměrný příkon plynu, elektrické energie a dodávky vody. Průměrný příkon v zemním plynu je porovnáván s teoreticky vypočtenými hodnotami.

Plynový kotel jako zdroj tepla.

Jedná se o kotel HABITAT 3 SE fy Hermann.

Maximální výkon (kW)	23,6
Minimální výkon (kW)	7,0
Elektrický příkon (W)	150,0
Účinnost při maximálním výkonu (%)	93,4

Tabulka 5.1 – Základní technické údaje kotle

Systém vytápění je řešen prostřednictvím radiátorů, příprava teplé vody je přímá. Kotel je proveden jako tzv. turbokotel s nasáváním vzduchu z venkovního prostředí přes stěnu koupelny podtlakem ventilátoru. Vzduch je nasáván kolem výfukové trubky, takže část citelného tepla spalín se využívá k ohřevu spalovacího vzduchu.

Navíc, při nízkých teplotách okolí (řádově pod 0°C), dochází k částečné kondenzaci vodní páry ze spalín a tím k využití výparného tepla vodní páry spalín, takže kotel pracuje v tomto období částečně jako kondenzační kotel.

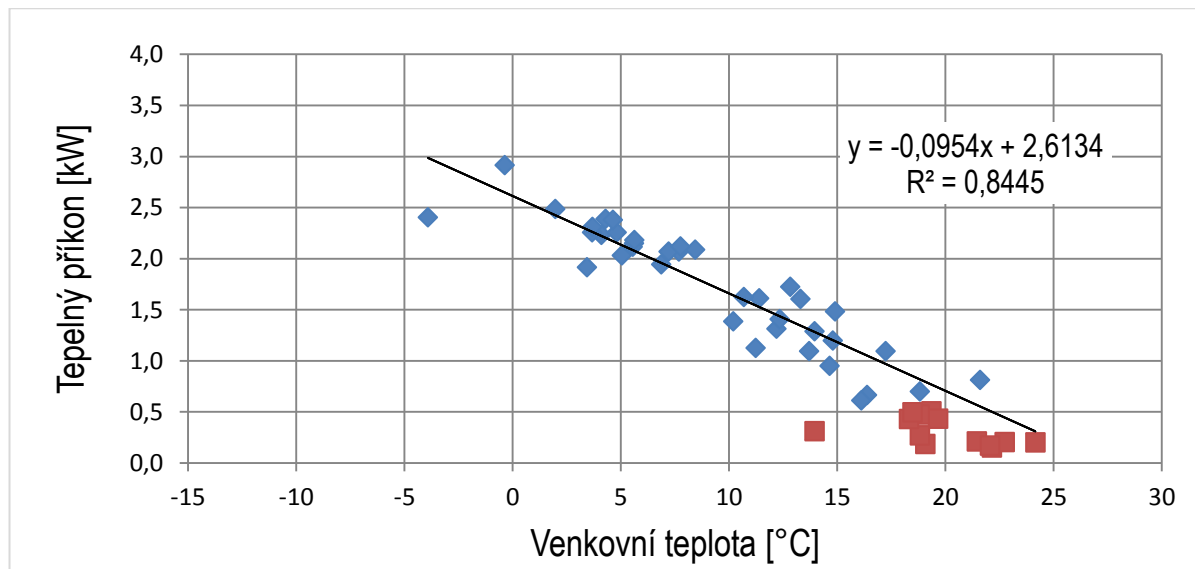
Regulace topení se děje systémem zavřeno – otevřeno při nastavené maximální teplotě oběhové vody a s působením termoregulačních ventilů na jednotlivých teplosměnných plochách.

Energetické charakteristiky rodinného domu

Na základě sledovaných hodnot spotřeby plynu, resp. tepelného příkonu je možno vyhodnotit energetické charakteristiky rodinného domu jako závislost tepelného příkonu na venkovní teplotě. Obdobně závislost průměrného elektrického příkonu.

Spotřeba tepla v plynu pro vytápění, přípravu teplé vody a větrání

Na obrázku 5.1 je znázorněna energetická charakteristika v roce 2014. Obdobně je v disertační práci uvedena energetická charakteristika v roce 2010, pro porovnání. Podstata spočívá v tom, že ke konci roku 2011 bylo provedeno zastínění části jihozápadní a severozápadní stěny dřevěnou stěnou s polykarbonátem, tím se vytvořila chráněná a zastřešená plocha, označená jako veranda. Obdobná stěna byla provedena také jako boční stěna garáže.



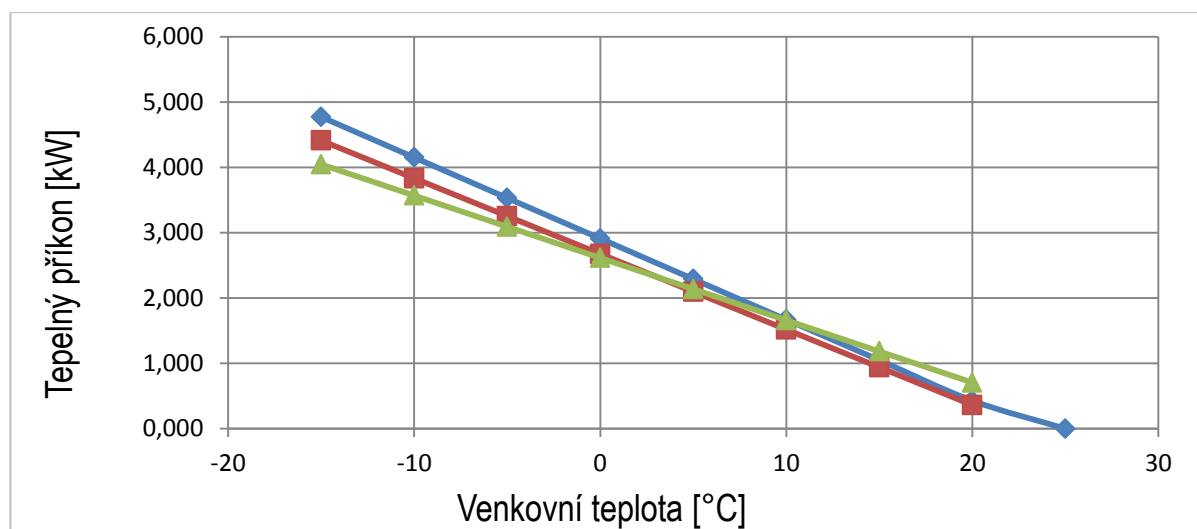
Obrázek 5.1 - Energetická charakteristika RD, rok 2014

Modré body v diagramu představují týdenní průměrné hodnoty tepelného příkonu pro vytápění a přípravu teplé vody v otopném období.

Červené body jsou průměrné hodnoty tepelného příkonu pro přípravu teplé vody mimo otopné období (tepelný příkon zde není závislý na venkovní teplotě).

Z vyhodnocení regresní funkce výše uvedené závislosti jako lineární závislosti na venkovní teplotě vyplývají rovnice pro určení potřebného příkonu energie:

V obrázku 5.2 jsou porovnány energetické charakteristiky roku 2010 a 2014 s teoretickou charakteristikou.



Obrázek 5.2 - Porovnání energetických charakteristik

Charakteristiky je možno vyjádřit také matematicky jako lineární funkce:

Rok 2010: $\Phi_c = 2,6747 - 0,1157 \cdot \theta_{ae}$, korelační koeficient $R^2 = 0,945$, červené body

Rok 2014: $\Phi_c = 2,6134 - 0,0954 \cdot \theta_{ae}$, korelační koeficient $R^2 = 0,918$, zelené body

Teoretická: $\Phi_c = 2,9183 - 0,1215 \cdot \theta_{ae}$, korelační koeficient $R^2 = 0,999$, modré body

Spotřeba elektrické energie

Ve stejných intervalech jako příkon v zemním plynu jsem sledovala spotřebu elektrické energie pro rodinný domek. Průměrné hodnoty jsou uvedeny rovněž v závislosti na vnější teplotě. Rozptyl je zde větší, což je způsobeno dalšími vlivy na spotřebu elektrické energie kromě ročního období, jako spotřeba elektrické energie k vaření a další domácí spotřebiče (lednička, počítač, apod.). Závislost elektrického příkonu na teplotě je uvedena v diagramu na obrázku 7.4 v disertační práci.

6 Tepelná stabilita objektu

V zimním období dochází u obytných domů k tepelným ztrátám objektu prostupem tepla a větráním. Tepelné ztráty se nahrazují systémem vytápění tak, aby se teplota vnitřního vzduchu udržovala na konstantní hodnotě.

V některých případech může dojít k přerušení dodávky tepla do objektu. Důvodem bývá např. porucha na otopném systému, nebo se může jednat jen o přerušení dodávky elektrické energie, pokud je na ní otopný systém závislý. Může také dojít k záměrnému odstavení dodávky tepla z důvodu neobydlení objektu.

V okamžiku přerušení vytápění dochází v důsledku tepelných ztrát ke snižování vnitřní teploty vzduchu v místnosti, příp. v celém objektu.

Pokles výsledné vnitřní teploty sledované místnosti příp. objektu, v zimním období, vyjadřuje stabilitu tepelného stavu vnitřního prostředí ve smyslu ČSN 73 0540–1 [26].

V ČSN 73 0540–2 [27] jsou uvedeny požadované nejvyšší hodnoty poklesu výsledné teploty v místnosti, příp. objektu na konci doby chladnutí. Výkon otopné soustavy je v době chladnutí nulový.

Doba chladnutí vzduchu v místnosti, příp. v objektu, závisí na několika parametrech, které mohou být v jednotlivých případech odlišné. Jedná se o tepelnou ztrátu, počáteční vnitřní teplotu vzduchu, teplotu okolního prostředí, vliv akumulace tepla obvodové konstrukce objektu, akumulace tepla vnitřní stavební konstrukce a akumulace tepla vnitřního vybavení místností, resp. celého objektu.

6.1 Stanovení základních rovnic pro výpočet průběhu teploty vnitřního vzduchu

Průběh teploty vnitřního vzduchu sledovaného objektu po odstavení zdroje tepla z provozu

Uvedený výpočet teoretické teploty vnitřního vzduchu je založen na zákonu o zachování energie a je zjednodušením jiných algoritmů uvedených např. v ČSN [27, 29].

Vychází se zde ze skutečnosti, že teplo, které v důsledku prostupu tepla obálkou sledovaného objektu snižuje teplotu vzduchu v interiéru, je doplňováno z části teplem akumulovaným ve zdivu a teplem akumulovaným ve vybavení vnitřních prostorů.

Rovnice energetické bilance, která platí v každém časovém intervalu:

$$Q_{pv} = Q_{vzd} + Q_m \quad (6.1)$$

kde Q_{pv} je množství tepla předaného prostupem tepla obálkou budovy do okolí [J]

Q_{vzd} úbytek tepla akumulovaného ve vzduchu v interiéru budovy [J]

Q_m úbytek tepla akumulovaného ve vybavení a konstrukci budovy [J]

Jednotlivé položky rovnice (8.1) je možno vyjádřit matematicky:

$$Q_{pv} = U_{em} \cdot A_b \cdot (\theta_{i1} - \theta_e) \cdot \Delta t \quad (6.2)$$

$$Q_{vzd} = c_{pvzd} \cdot V_a \cdot (\theta_{i1} - \theta_{i2}) = q_{vzd} \cdot (\theta_{i1} - \theta_{i2}) \quad (6.3)$$

$$Q_m = \sum m \cdot c_{vi} \cdot (\theta_{i1} - \theta_{i2}) = q_m \cdot (\theta_{i1} - \theta_{i2}) \quad (6.4)$$

kde U_{em} je průměrný součinitel prostupu tepla [W/(m²K)], stanoví se podle Vyhlášky č. 78/2013 Sb. [31]

A_b celková plocha obálky budovy [m²], představuje celkovou plochu podlahy, obvodu a stropu domu

θ_{i1} vnitřní teplota na začátku časového intervalu Δt [°C]

θ_{i2} vnitřní teplota na konci časového intervalu Δt [°C]

θ_e teplota venkovního vzduchu [°C]

Δt časový interval [s], jedná se o zvolený časový interval pro postupný výpočet

c_{pvzd} měrná tepelná kapacita vzduchu [J/(m³K)]

m_i hmotnost konstrukce budovy a vnitřního vybavení [kg]

c_{vi} měrná tepelná kapacita konstrukce budovy a vnitřního vybavení [J/(kgK)]

V_a objem obestavěného prostoru budovy, vytápěné zóny [m³]

Celkový úbytek akumulovaného tepla uvnitř budovy podle rovnic 6.3 a 6.4 lze vyjádřit:

$$Q_{vzd} + Q_m = (q_{vzd} + q_m) \cdot (\theta_{i1} - \theta_{i2}) \quad (6.5)$$

Na základě výše uvedených rovnic je možno stanovit teplotu na konci časového intervalu Δt :

$$\theta_{i2} = \theta_{i1} - \frac{U_{em} \cdot A_b \cdot (\theta_{i1} - \theta_e) \cdot \Delta t}{(q_{vzd} + q_m)} \quad (6.6)$$

kde $q_{vzd} = c_{pvzd} \cdot V_a$ je úbytek tepla ze vzduchu v obestavěném prostoru při poklesu teploty o 1°C [J/K]

$q_m = \sum c_{vi} \cdot m_i = (q_{mk} + q_{mi})$ je úbytek tepla z akumulace tepla obálky budovy q_{mk} a vnitřního vybavení q_{mi} při snížení průměrné teploty hmoty o 1°C [J/K]

6.2 Porovnání teorie se skutečností

Za účelem porovnání uvedeného teoretického výpočtu sledování teploty vnitřního vzduchu byl proveden experiment průběhu teploty vzduchu na čase u referenčního rodinného domu.

Charakteristika referenčního rodinného domu

Sledovaný objekt je jednopodlažní, nepodsklepený, postavený na betonové základové desce. Střešní krytina je se sklonem 13°, podkroví je nad tepelně izolovaným stropem.

Rozměry objektu:

Čistá podlahová plocha je 76,94 m².

Světlná výška je 2,63 m.

Stěny jsou z tvárnic YTONG - tloušťka $d = 0,375$ m.

Okna jsou plastová, čiré dvojsklo.

Vstupní dveře jsou dřevěné se skleněnou vložkou.

Podmínky v rámci provedení experimentu byly stanoveny následovně:

- zkoumaný objekt je bez přirozeného větrání, tj. uzavření všech oken a dveří,
- nulová spotřeba tepla potřebná k přípravě teplé vody, jsou odstaveny veškeré spotřebiče produkující do prostoru objektu tepelnou energii.
- v průběhu experimentu byly staženy venkovní rolety na jižní straně objektu, tj. okna do kuchyně a jídelny
- teplota vzduchu uvnitř objektu byla sledována v jídelně a dále kontrolována v dalších obytných místnostech, knihovně a ložnici.

Experiment byl proveden ve dvou fázích:

- 1) po odstavení dodávky tepla vypnutím teplovodního kotle, sledováním teploty v jídelně od 12:00 hodin do 24:00 hodin v intervalech po 1 hodině. Počátek sledování průběhu teploty vzduchu započal po snížení teploty otopných těles.
- 2) v 0:30 hodin byl teplovodní kotel pro vytápění objektu znovu uveden do provozu.

Následně byly odečítány teploty v jídelně až po vyrovnaní teplot na hodnotu 22°C. Celý proces probíhal necelých 17 hodin a to v intervalech 1 až 2 hodiny.

Průběh teplot vzduchu uvnitř objektu po odstavení zdroje tepla z provozu

Teoretický výpočet průběhu teplot vzduchu je podle rovnice 6.6. Týká se podstatně obytné části budovy, kuchyně, jídelna a obývací pokoj. Tento průběh je porovnán se skutečně naměřeným teplotním průběhem.

Konstantní hodnoty ve výpočtu:

kde U_{em} je průměrný součinitel prostupu tepla = 0,444 W/(m²K),

A_b celková plocha obálky domu = 233,04 m²,

Δt zvolený časový interval pro postupný výpočet

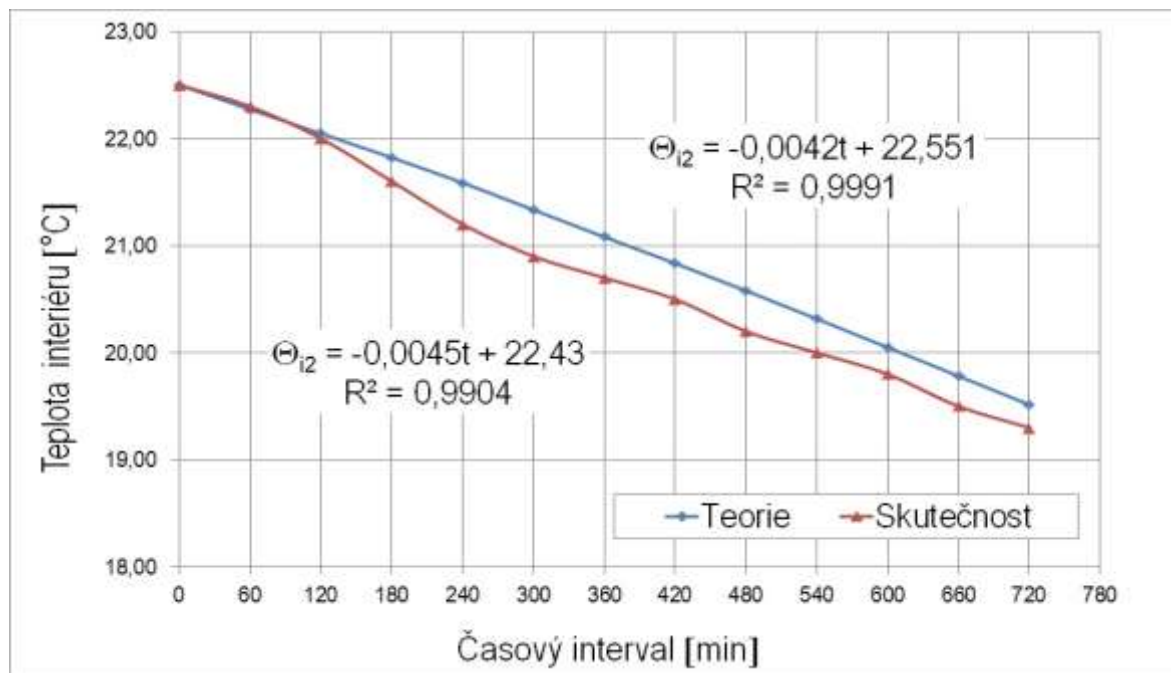
$q_m = (q_{mk} + q_{mi})$ je úbytek tepla z akumulace tepla obálky budovy a vnitřního vybavení při snížení průměrné teploty hmoty o 1°C [J/K]. V tomto případě byla stanovena jeho hodnota 30 MJ/K.

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} byl stanoven na základě stavební konstrukce objektu podle ČSN EN 12 831 [25] ve smyslu Vyhl. č.78/2013 Sb. [31].

Obtížné je stanovení měrného ukazatele akumulace tepla ($q_{vzd} + q_m$). Pro uvedený experiment byl tento ukazatel určen výpočtem podle rovnice 6.6 na základě dalších měření průběhu teploty vzduchu při jiných podmínkách, tj. při jiné teplotě venkovního vzduchu.

Pro výše uvedené konstantní hodnoty byl proveden výpočet, kde časový interval Δt byl zvolen 15 minut. Vypočtené a skutečně naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8.1 disertační práce s výběrem hodnot v hodinovém intervalu.

Graf průběhu vnitřních teplot vzduchu uvnitř objektu, jak byly vypočteny a naměřeny po odstavení kotle z provozu, je znázorněn na obrázku 6.1.



Obrázek 6.1 - Průběh vnitřních teplot objektu po odstavení kotle z provozu

Graficky znázorněný průběh teoretických a skutečných teplot vzduchu uvnitř objektu ukazuje, že matematický výpočet vnitřní teploty vzduchu se příliš neliší od skutečného průběhu naměřených teplot vzduchu.

6.3 Průběh vnitřních teplot vzduchu po opětovém uvedení zdroje tepla do provozu

Po přerušení vytápění objektu následuje znovu uvedení zdroje tepla do provozu. V tomto případě platí energetická bilance v každém časovém intervalu:

$$Q_k = Q_{pv} + Q_{vzd} + Q_m \quad (6.7)$$

kde Q_k je množství tepla dodaného kotlem za časový interval do topného systému [J],

Q_{pv} množství tepla předaného prostupem tepla budovy do okolí [J],

Q_{vzd} množství tepla dodaného k akumulaci do vzduchu v interiéru budovy [J],

Q_m množství tepla dodaného k akumulaci do vybavení a stavební konstrukce [J].

Tyto položky rovnice 6.7 je možno vyjádřit stejně jako v rovnicích 6.2 až 6.4.

Celková energetická bilance za časový interval Δt bude:

$$Q_k = \sum U_j \cdot A_j \cdot (\theta_{i1} - \theta_e) \cdot \Delta t + c_{p,vzd} \cdot V_a \cdot (\theta_{i2} - \theta_{i1}) + \sum m \cdot c_{vj} \cdot (\theta_{i2} - \theta_{i1}) \quad (6.8)$$

Po dosazení množství akumulované energie dle rovnic (8.3) a (8.4) bude:

$$Q_k = \sum U_j \cdot A_j \cdot (\theta_{i1} - \theta_e) \cdot \Delta t + (q_{vzd} + q_m) (\theta_{i2} - \theta_{i1}) \quad (6.9)$$

Z rovnice 6.10 je možno vypočítat teplotu uvnitř budovy na konci časového intervalu Δt :

$$\theta_{i2} = \theta_{i1} + \frac{Q_k - \sum U_j \cdot A_j \cdot (\theta_{i1} - \theta_e) \cdot \Delta t}{(q_{vzd} + q_m)} \quad (6.10)$$

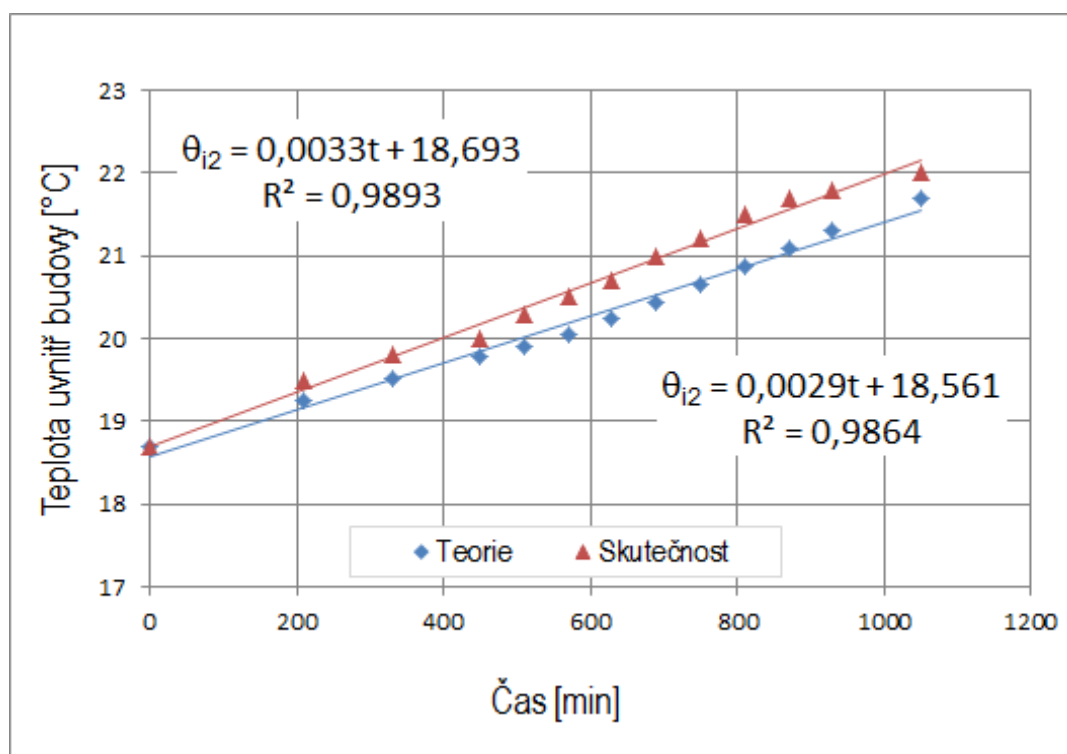
Výpočet teplot po opětovném uvedení zdroje tepla do provozu a sledování skutečných teplot je proveden obdobným způsobem, jako je pro případ vypnutí zdroje tepla z provozu (kapitola 6.1).

V tomto případě je výpočet podle rovnice 6.10. Příslušné veličiny jsou stejné, jako jsou v případě přerušení dodávky tepla ze zdroje, s tím rozdílem, že se do rovnice 6.10 musí dosadit hodnota množství tepla, dodaného teplovodním kotlem do rozvodu.

Q_k , průměrná hodnota tepla dodaného kotlem do teplovodního rozvodu je $3\,532 \cdot \Delta t$ [J].

Tato hodnota byla zjištěna odečtením spotřeby plynu za daný časový interval při zohlednění účinnosti kotle.

Vypočtené hodnoty a porovnání se skutečností jsou uvedeny v disertační práci, v tabulce 8.2. Na obrázku 6.2 je znázorněn diagram těchto hodnot a porovnání průběh.



Obrázek 6.2 - Průběh teplot uvnitř objektu na základě výpočtu a naměřené skutečnosti po znovu uvedení kotle do provozu

Na základě vyhodnoceného průběhu teplot po znovuvvedení zdroje tepla do provozu je možno opět stanovit přibližnou matematickou závislost ve tvaru lineární regrese:

- pro **teoretický průběh** teplot: $\theta_{i2} = 18,7 + 0,0033 \cdot t$, korelační koeficient $R^2 = 0,9893$,
- pro **skutečný průběh** teplot: $\theta_{i2} = 18,6 + 0,0029 \cdot t$, korelační koeficient $R^2 = 0,99864$.

6.4 Shrnutí výsledků experimentu

V kapitole 8.1 disertační práce je vyjádřen, matematicky a graficky, průběh teplot uvnitř referenčního rodinného domu po odstavení plynového kotle z provozu a po následném znovuvvedení do provozu. Vypočtený průběh teplot je porovnán se skutečně naměřenými hodnotami teplot. Z grafického porovnání teoretického a skutečného průběhu teplot byla zjištěna velmi dobrá shoda teorie se skutečností.

6.5 Průběh teploty po přerušeném vytápění, včetně větrání vnitřních prostorů

Pro posuzování tepelné stability po přerušeném vytápění je zajímavý také průběh poklesu teploty uvnitř objektu v závislosti na čase. Graficky je průběh znázorněn v disertační práci v diagramu na obrázku 8.4 v intervalu jednoho dne, tj. 24 hodin.

Tato část DP se zabývá teoreticky případy průběhu vnitřní teploty uvnitř objektu při současném větrání vnitřního prostoru budovy s různou intenzitou větrání a porovnáním s průběhem teploty při intenzitě větrání $n = 0$

Rovnice balance energie podle 6.1 se v tomto případě rozšíří o ztrátu tepla výměnou vzduchu ve vnitřním prostoru objektu Q_v

$$Q_{pv} + Q_v = Q_{vzd} + Q_m \quad (6.11)$$

Proti rovnici (6.1) zde přistupuje, kromě ztráty tepla prostupem obálkou domu, ztráta výměnou tepla větráním:

$$Q_v = c_{p,vzd} \cdot n \cdot V_a \cdot (\theta_{i1} - \theta_e) \cdot \Delta t \quad [J] \quad (6.12)$$

kde $c_{p,vzd}$ je měrná tepelná kapacita vzduchu = 0,34 [J/(m³·K)]

n intenzita větrání [h⁻¹]

V_a celkový obestavěný prostor budovy [m³]

Z nové celkové energetické balance podle rovnice (8.11) je možno určit průběh teploty z rovnice

$$\theta_{i2} = \theta_{i1} - \frac{(\sum U_j \cdot A_j + 0,34 \cdot n \cdot V_a) \cdot (\theta_{i1} - \theta_e) \cdot \Delta t}{(q_{vzd} + q_m)} \quad [^\circ C] \quad (6.13)$$

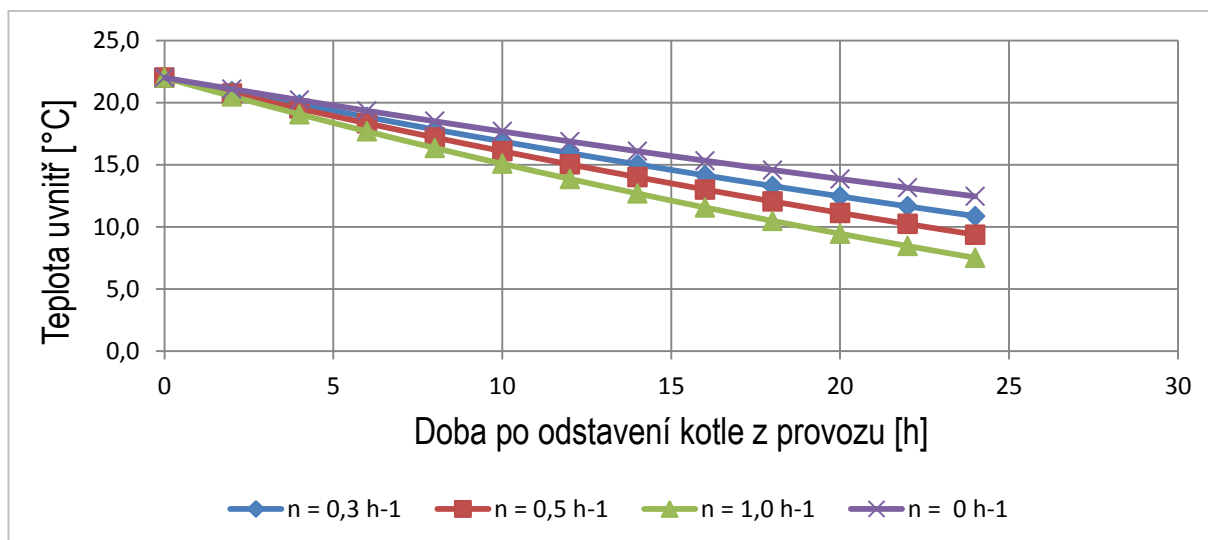
Ukazatel n – intenzita větrání, udává, jaká část vzduchového prostoru budovy se větráním vymění za 1 hodinu. Kromě veličin, uvedených již v kapitole 6.1, také v tomto případě byly dosazeny do rovnice 6.13:

kde V_a je celkový obestavěný objem domu je 202,3 m³,

n intenzita větrání byla dosazena v hodnotách $n = 0,3, 0,5$ a $1,0 \text{ h}^{-1}$ a pro porovnání při nulové intenzitě větrání $n = 0$.

θ_e venkovní teplota byla dosazena v hodnotě pro nejnižší výpočtovou teplotu pro oblast Ostravy je -15°C.

Průběh vypočtených teplot podle tabulky 8.3 v DP je uveden v diagramu na obrázku 6.3.



Obrázek 6.3 - Průběh teplot uvnitř domu na základě výpočtu po vypnutí kotle při různé intenzitě větrání $n = 0,3$; $n=0,5$; $n=1,0$; $n = 0$ a venkovní teplotě $\theta_e = -15^\circ\text{C}$.

6.6 Vliv materiálu obvodového zdiva na akumulaci tepla

V této části kapitoly 8 DP je teoreticky řešen vliv jednotlivých parametrů v rovnici 6.6, na průběh teploty vzduchu v interiéru θ_i v závislosti na druhu materiálu obvodové konstrukce budovy.

Jak je zřejmé z rovnice 6.6, základní hodnotou, ovlivňující průběh teploty v interiéru, je velikost průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} . Za předpokladu stejných ostatních hodnot platí, že čím vyšší bude hodnota U_{em} , tedy horší tepelná izolace konstrukce budovy, bude pokles teploty v interiéru za stejnou dobu vyšší.

Dalším parametrem, ovlivňujícím průběh teploty θ_i , je teplota vnějšího ovzduší θ_e . Čím nižší je tato teplota, tím rychlejší bude pokles teploty v interiéru θ_i .

Za pozornost stojí poslední faktor ovlivňující průběh teploty v interiéru. Výpočet je podle rovnic 6.3 a 6.4, v nichž úbytek tepla ($q_{vzd} + q_m$) přímo souvisí s tepelnou akumulací. Po odstavení zdroje tepla z provozu se teplo vzduchu v interiéru sdílí, tj. nahrazuje z této akumulace.

Zatímco hodnota akumulace vzduchu q_{vzd} je velmi malá a prakticky nevýznamná, je hodnota q_m velmi významná a podstatně ovlivní průběh teploty interiéru po přerušení vytápění objektu

Pro porovnání tohoto vlivu jsou v DP uvedeny čtyři druhy materiálu obvodového zdiva. Druh materiálu a jeho tepelné technické vlastnosti a vypočtená hodnota plošné tepelné kapacity C , resp. q_{mk} jsou uvedeny v DP v tabulce 8.1.

Pro alternativu I – pórobeton Ytong byla hodnota tepelné kapacity interiéru q_{mi} vypočtena z hodnot jiných měření průběhu teploty θ_i ve sledovaném objektu z rovnice 6.6 a celkový úbytek akumulované tepelné energie vychází $q_m = q_{mk} + q_{mi} = 30 \text{ MJ/K}$.

Z této celkové hodnoty vychází velikost úbytku akumulace tepla z vnitřního vybavení objektu.

$$q_{mi} = q_m - q_{mk} \text{ [J/K]} \quad (6.14)$$

S touto hodnotou je počítáno při výpočtu úbytku akumulace tepla u variant II až IV, podle rovnice:

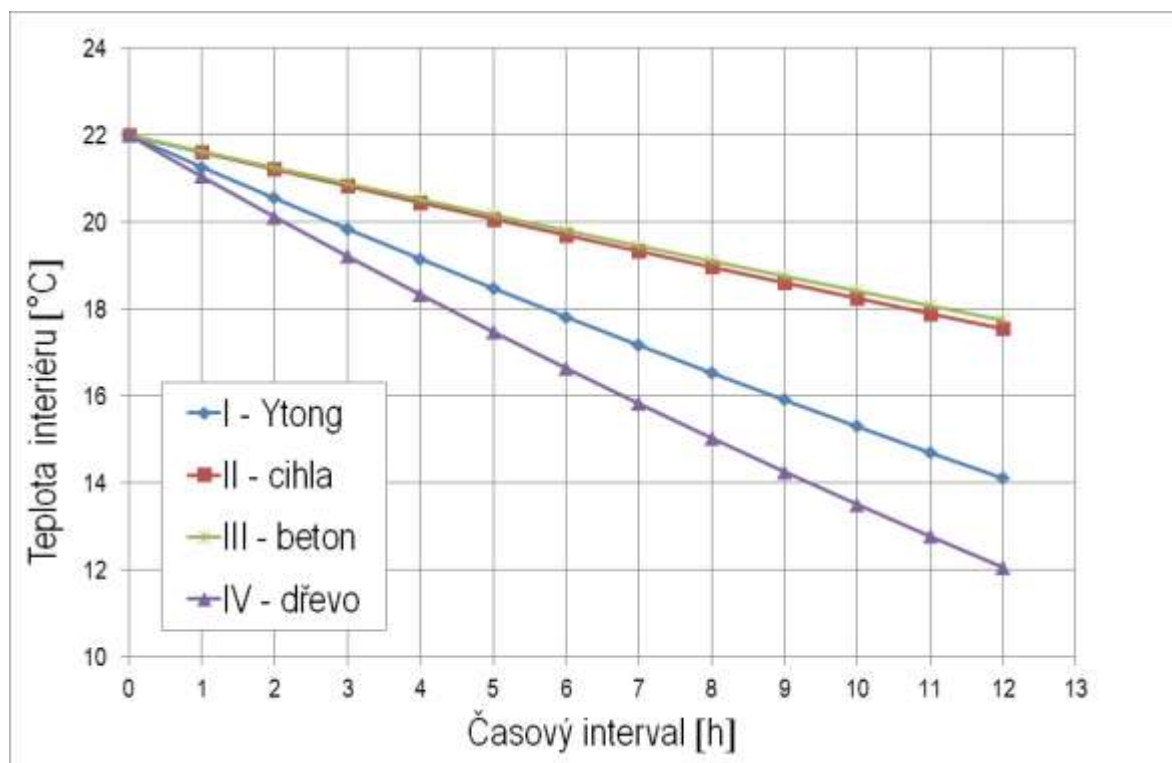
$$q_m = q_{mk} + q_{mi} \text{ [J/K]} \quad (6.15)$$

Tepelná stabilita místností a požadavky na výslednou hodnotu poklesu teploty při různých způsobech vytápění a různých typech budov jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2., odst. 8.1 [27]. Pokles výsledné teploty vzduchu v místnosti obytné budovy v zimním období je uveden v tabulce 6.2.

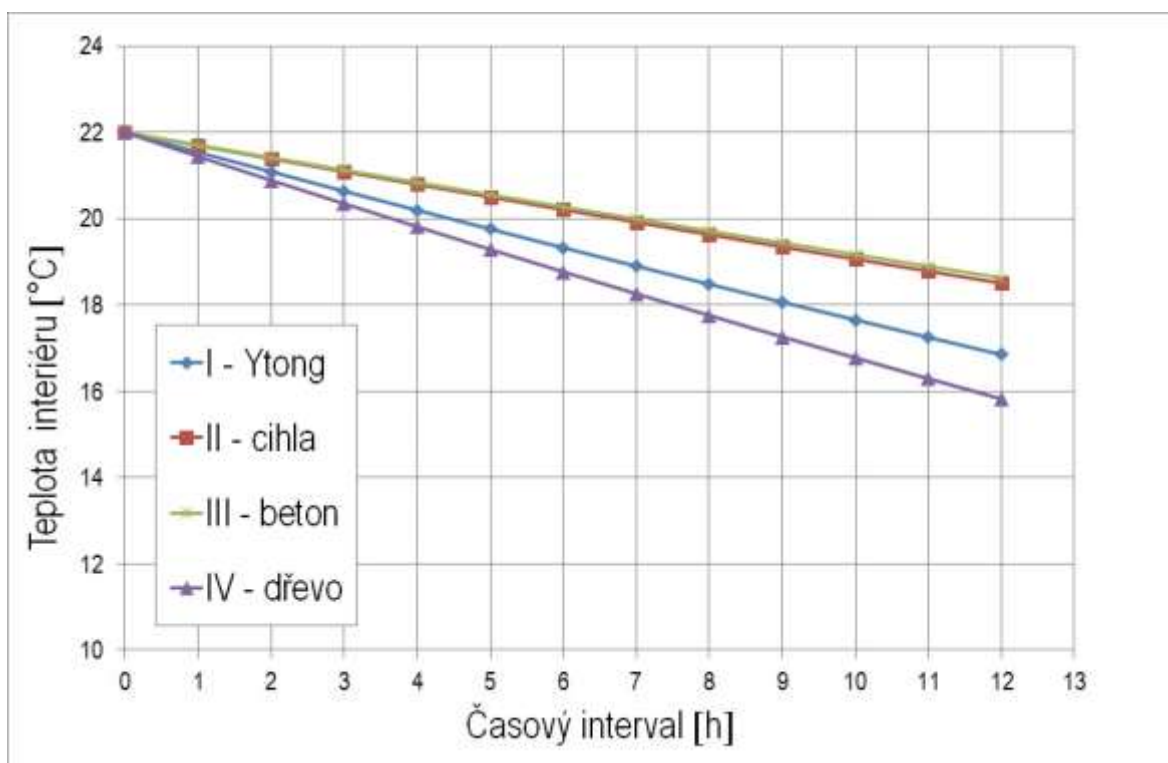
Druh místnosti	Pokles výsledné teploty [°C]
S pobytem lidí po přerušení vytápění:	
- při vytápění radiátory, sálavými panely a teplovzdušné vytápění	$\Delta\theta_{i2} = 3$
- při vytápění kamny a podlahovém vytápění	$\Delta\theta_{i2} = 4$
Bez pobytu lidí po přerušení vytápění:	
- budova masivní	$\Delta\theta_{i2} = 6$
- budova lehká	$\Delta\theta_{i2} = 8$

Tabulka 6.2 - Převzato z ČSN 73 0540-2, str. 25, Tabulka 11

V obr. 6.4 a 6.5 jsou z DP uvedeny vypočtené průběhy poklesu teploty po přerušení vytápění pro různé druhy materiálů stavební konstrukce, bez a s vnitřním vybavením. Velmi důležitý je vliv akumulace vnitřního vybavení.



Obrázek 6.4 - Graf průběhu teplot v interiéru bez vnitřního vybavení



Obrázek 6.5 - Graf průběhu teplot v interiéru s vnitřním vybavením

7 Možnosti snížení spotřeby energie RD

V této části práce jsou uvedeny možnosti snížení spotřeby energií pro uvedený rodinný domek.

7.1 Termovizní měření tepelných ztrát RD

Cílem termovizních měření ve stavebnictví obecně je posoudit vlastnosti zkoumané části bytové stavby. Používají se zpravidla před zahájením stavebních úprav. Dále se termokamery využívají případně také pro kontrolní nástroj již provedených úprav a rekonstrukcí. Někdy také pro kontrolu tepelně-technických vlastností nových budov.

Výstup z termovizní kamery vykresluje objekt v různých barvách, které vyjadřují velikost povrchové teploty a tím také velikost tepelných ztrát stěnami, okny a dveřmi.

Termovizní měření vyhodnotí tepelné ztráty jako:

- porušení, nebo nedostatečná tepelná izolace obvodového pláště a tepelné mosty,
- netěsnosti oken, okenních a dveřních rámců,
- nedostatečnou izolační schopnost oken a dveří,
- netěsnost a nedostatečná izolace střech a půdních prostor.

Termovizní měření na zkoumaném rodinném domku měl za cíl posoudit celkově izolační schopnosti obvodových stěn, oken a dveří pro případné úpravy tepelně-technických vlastností objektu.

Měření bylo provedeno ve dvou fázích a to:

- bez stažených okenních rolet,
- se staženými okenními roletami za účelem posouzení vlivu rolet na tepelné ztráty objektu.

Těchto termovizních měření je v práci využito k ověření správnosti a přiměřenosti výpočtů tepelných ztrát rodinného domku.



Obrázek 7.1 - Termovizní snímek vstupní části objektu

Na obrázku 7.1 je jeden z celkového počtu 25 termovizních snímků jednotlivých stěn objektu bez stažených venkovních rolet a se staženými roletami na oknech.

Na základě základních vztahů termodynamiky pro prostup tepla stěnou je v disertační práci provedeno porovnání vypočtené vnější teploty povrchu stěn θ_{pe} a stejným způsobem byly vypočteny teploty vnějšího povrchu oken a dveří.

U oken také při stažených venkovních teplotách. Výpočty dokládají dobrou shodu měření vnějšího povrchu s použitými hodnotami ve výpočtu součinitele prostupu tepla daného rodinného domu.

Na základě výpočtů průměrného součinitele prostupu tepla obdobně jako v kapitole 4, tabulka 4.1 DP vychází, že spuštěním venkovních rolet je možno snížit výpočtovou tepelnou ztrátu cca o 6 %.

7.2 Možnosti snížení spotřeby energie zateplením stěn

1) možnosti a způsoby zateplení venkovních stěn objektu:

- izolační vrstvou,
- izolačním nátěrem,

2) možnosti zateplení stropu izolačním nátěrem,

3) možnosti zlepšení tepelných vlastností oken.

V disertační práci je proveden výpočet zateplení venkovních stěn izolační vrstvou z polystyrenu tloušťce izolační vrstvy 50 mm.

Z výpočtu obálkovou metodou vychází snížení ztráty prostupem tepla na 95,8 %. Při ceně izolační vrstvy této tloušťky 92,5 Kč/m² bez DPH je cena izolace stěn 21 550 Kč.

7.3 Výměna stávajícího kotle ÚT kotlem kondenzačním s akumulací tepla

Účinnost kotle vyjadřuje stupeň využití tepla přivedeného do kotle na teplo dodané do rozvodu topné vody:

$$\eta_k = \frac{P_k}{P_n} \cdot 100 \quad (7.1)$$

kde η_k je účinnost kotle [%],
 P_n příkon kotle [kW],
 P_k výkon kotle [kW].

Energetická charakteristika kotle klasického (OK) a kotle kondenzačního (KK)

U klasického plynového kotle je příkon do kotle dán rovnicí:

$$P_n = V_p \cdot H_u \quad (7.2)$$

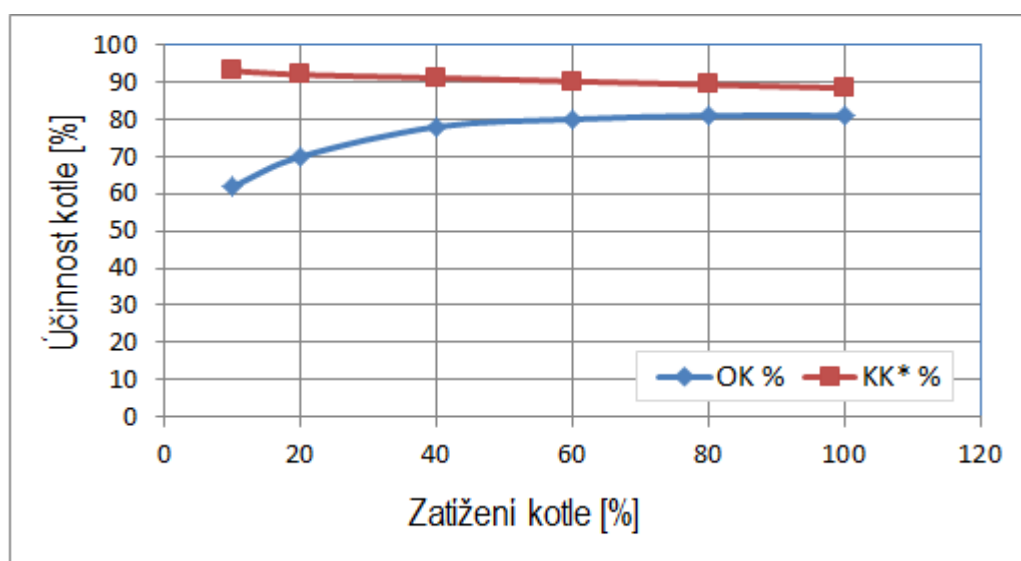
U kotle kondenzačního je příkon do kotle dán rovnicí:

$$P_n = V_p \cdot H_s \quad (7.3)$$

kde V_p je množství plynu [m³/h],
 H_u výhřevnost plynu [kWh/m³],
 H_s spalné teplo plynu [kWh/m³].

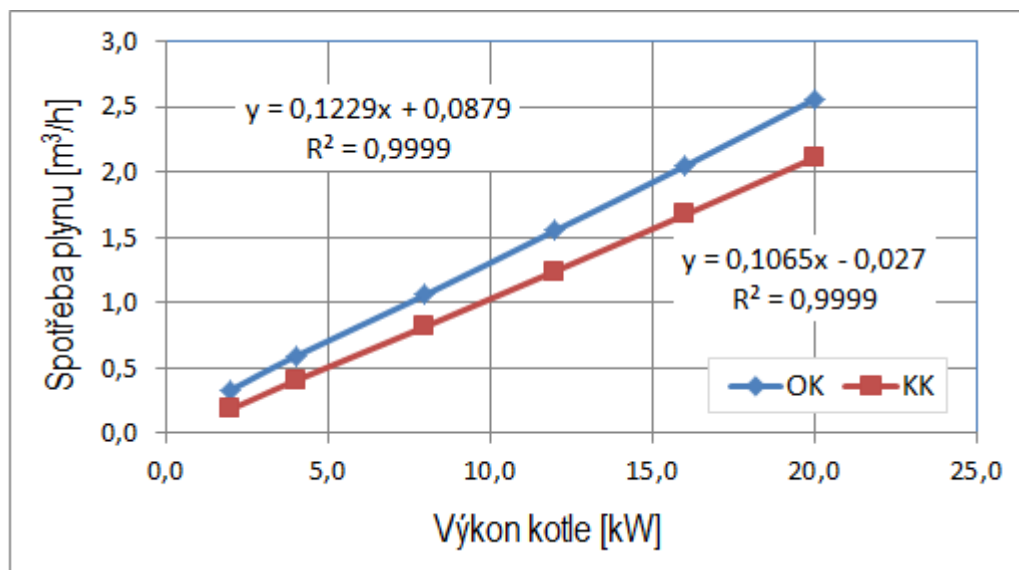
Často se nesprávně porovnává účinnost obou typu kotlů, a to na základě výhřevnosti topného plynu. Potom vychází, že účinnost kondenzačního kotle je vyšší než 100%. To není samozřejmě správné, jelikož účinnost kotle vyjadřuje ztráty při přeměně chemické energie v plynu na energii tepelnou využitou v tepelném zařízení a musí být tedy menší než 100%.

Na základě výše uvedených rovnic 7.1 až 7.3 a měření jednotlivých veličin při různém zatížení kotlů je možno sestavit závislosti účinností obou kotlů na zatížení kotle, jak je uvedeno na obrázku 7.2.



Obrázek 7.2 - Porovnání účinnosti kotle (OK) k výhřevnosti a kotle (KK) ke spalnému teplu

Energetické charakteristiky kotlů vyjadřují závislost spotřeby plynu V_p na výkonu kotle Q_k . Pro kotel určitého jmenovitého výkonu, pro případ rodinného domu $Q_k = 20$ kW, je porovnání energetických charakteristik s využitím průběhu účinnosti dle obrázku 7.2 na obrázku 7.3.



Obrázek 7.3 - Energetické charakteristiky kotlů (OK) a (KK)

Úspora spotřeby energie pro vytápění výměnou klasického kotle kondenzačním kotlem.

Nahrazením klasického kotle kotlem kondenzačním dojde ke snížení spotřeby zemního plynu pro rodinný dům.

Stávající spotřeba zemního plynu pro zkoumaný konkrétní rodinný dům byla v posledních letech, jak je uvedeno v tabulce 7.1. (Parametry jsou uváděny za každé roční období ve fakturách dodavatele zemního plynu.)

Fakturační období (cca duben až březen následujícího roku):

Fakturační období	Spotřeba zemního plynu kWh/rok	Objemové spalné teplo kWh/m³	Spalné teplo kJ/m³	Množství zemního plynu m³/rok
2013/14	14 777	10,675	38 430,7	1 384
2014/15	14 475	10,656	38 363,0	1 358
2015/16	14 189	10,674	38 426,4	1 329
2016/17	14 343	10,704	38 534,4	1 340
Průměr za období	14 446	10,677	38 438,6	1 353

Tabulka 7.1 – Porovnání roční spotřeby ZP a množství energie pro RD

Spotřeba zemního plynu se pohybuje tedy řádově okolo 14 500 kWh/rok a spalné teplo v průměru 38 500 kJ/m³. Za předpokladu, že v obou případech je výkon kotle (tj. energie dodaná do topného systému) klasického a kondenzačního stejný, platí rovnice:

$$V_{pk} = V_{po} \cdot \frac{H_u \cdot \eta_{ko}}{H_s \cdot \eta_{kk}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (7.4)$$

Dosazením hodnot z tabulky 7.1 do rovnice (7.4) obdržíme porovnání roční spotřeby zemního plynu:

$$V_{pk} = 1353 \cdot \frac{34660,0,8}{38438,0,9} = 1084,5 \text{ m}^3$$

Poměr: $\frac{V_{pk}}{V_{po}} = \frac{1084,5}{1353} = 0,801$

Po výměně stávajícího obyčejného kotle na kondenzační kotel se tedy sníží spotřeba ZP a energie na 80%.

7.4 Tepelné čerpadlo vzduch – voda

V posledních letech se ve značné míře rozšířilo využití tepelných čerpadel pro zásobování teplem obytných budov, zejména rodinných domů a menších bytových domů.

Princip tepelného čerpadla je v podstatě známý.

Tepelné čerpadlo využívá energii okolního prostředí a transformuje ji na vyšší úroveň potřebnou pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody objektů.

Základní parametry tepelného čerpadla jsou:

P_T tepelný výkon tepelného čerpadla [kW],

P_e elektrický příkon kompresoru [kW],

ε_T topný faktor tepelného čerpadla [-].

$$\varepsilon_T = \frac{P_T}{P_e} \quad (7.5)$$

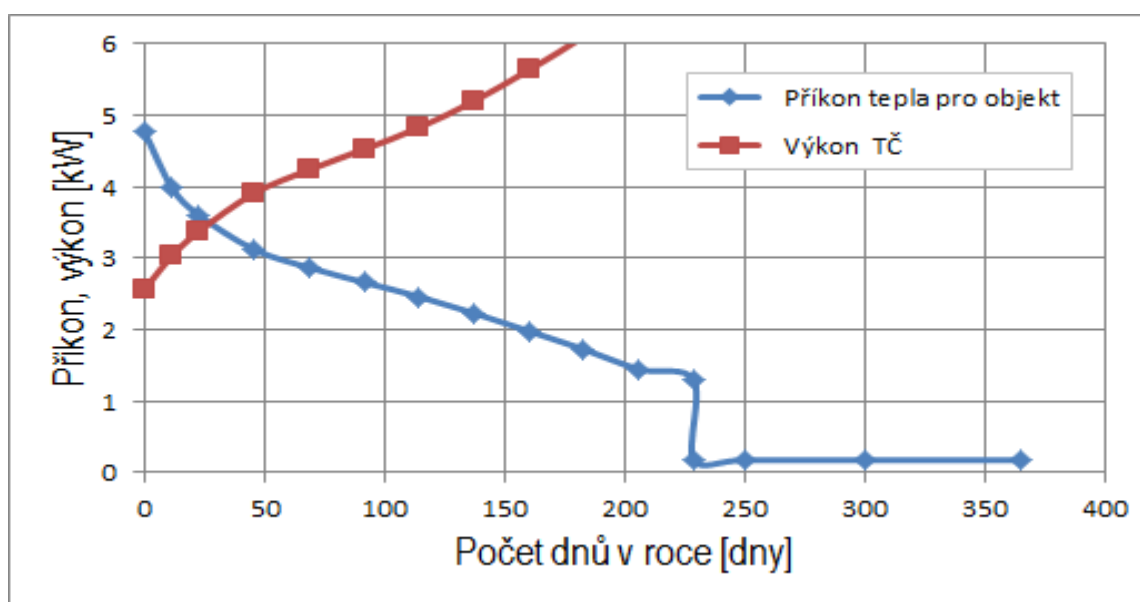
Topný faktor tepelného čerpadla udává kolikanásobně je vyšší dodané teplo do otopného systému proti spotřebě elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla.

Tepelná čerpadla v systému vzduch/voda mají proti ostatním systémům TČ nevýhodu v tom, že při nižších teplotách okolního vzduchu dochází ke snížení topného faktoru a tím také ke snížení využití tepla vzduchu pro dodávku tepla do objektu.

Na trhu tepelných čerpadel se vyskytuje celá řada tepelných čerpadel od různých výrobců, spíše se jedná o čerpadla vyšších výkonů.

Pro zajištění dodávky tepla jsem vybrala tepelné čerpadlo typu EcoAir 406. Z technických údajů, uváděných výrobcem je možno sestavit charakteristiky topného výkonu, příkonu a topného faktoru v závislosti na vnější teplotě θ_e . (je uvedeno v DP v kapitole 10.2, obrázek 10.4.)

Pro vyhodnocení úspory tepla při použití TČ je důležitý diagram trvání potřebného výkonu tepelného čerpadla, obrázek 7.4.



Obrázek 7.4 – Průběh trvání tepelného příkonu RD při provozu kotel + TČ

Z diagramu je zřejmé, že při nejnižších teplotách není tepelné čerpadlo schopno zajistit plný potřebný tepelný příkon. Je proto nutno potřebný příkon dodat z jiného zdroje, například z plynového kotle.

Obecně je možno provozovat tento systém plynový kotel – TČ několika způsoby:

- monovalentní provoz,
- alternativně bivalentní provoz,
- paralelně bivalentní provoz,
- částečně paralelně bivalentní provoz

Podrobnosti jednotlivých způsobů jsou popsány v DP. Jako vhodný způsob pro daný případ rodinného domu se jeví paralelně bivalentní provoz, v obr. 7.4 pod modrou čarou v intervalu 365 – 30 dnů.

Paralelně bivalentní provoz, v obr. 7.4 pod modrou čarou v intervalu 365 – 30 dnů. Do určité teploty pracuje pouze tepelné čerpadlo (modrá křivka), a to systémem regulace podle zátěže. Při nižších venkovních teplotách, interval 0 až 30 dnů, pak TČ zajišťuje částečný potřebný tepelný výkon, tj. podle červené křivky. Zbývající potřebný výkon, mezi červenou a modrou čarou, zajišťuje dodatečný zdroj tepla (plynový kotel nebo elektrokotel).

Úspora energie při použití tepelného čerpadla proti klasickému plynovému kotli

Jak je dříve uvedeno, plocha pod křivkou trvání tepelného příkonu rodinného domu (obr. 7.4) vyjadřuje spotřebu tepla pro provoz topného systému za rok. Plocha pod oběma křivkami v otopném období představuje dodané množství tepla tepelným čerpadlem. Mimo topné období bude tepelné čerpadlo vypnuto a potřebu tepla dodává plynový kotel. Plynový kotel je také v provozu v topném období a dodané množství tepla v diagramu vyjadřuje plocha mezi modrou a červenou křivkou od nuly do průsečíku obou křivek.

Výpočet potřeby tepla tepelného čerpadla a plynového kotle jsem stanovila z uvedeného diagramu výpočtem ploch jednotlivých částí uvedeného diagramu proužkovou metodou.

Integrací bivalentního provozu kotel + tepelné čerpadlo na základě tohoto diagramu je:

Celková potřeba tepla $Q_e = 14359,26 \text{ kWh}$,

Teplo dodané tepelným čerpadlem $Q_{TČ} = 13112,85 \text{ kWh}$,

Teplo dodané plynovým kotlem $Q_k = 1246,42 \text{ kWh}$.

Pro porovnání přivedené energie pro případ instalace tepelného čerpadla do systému dodávky tepelné energie rodinného domu budu uvažovat dvě varianty:

- 1) stávající provoz s klasickým plynovým kotlem.

Uvažuji průměrnou účinnost kotle $\eta_k = 0,91$, takže energie v zemním plynu je

$$Q_{kzp} = 15\,779 \text{ kWh},$$

- 2) Provoz tepelného čerpadla s doplňkovým provozem současného klasického kotle

Uvažuji průměrnou účinnost kotle $\eta_k = 0,8$ (bude pracovat s nižším výkonem), průměrný tepelný faktor v době provozu tepelného čerpadla $\varepsilon_T = 2,29$.

Celkem při alternativně bivalentním provozu bude spotřeba energie kotle a tepelného čerpadla

$$Q_{ec} = Q_{kzp} + Q_{Te} = 1\,558 + 5\,726 = 7\,284 \text{ kWh}.$$

Úspora energie při provozu kotel + tepelné čerpadlo proti provozu jen s kotlem bude

$$\Delta Q_{ec} = Q_{kzp} - Q_{ec} = 15\,779 - 7\,284 = 8\,495 \text{ kWh}.$$

Podle uvedených údajů dojde ke snížení spotřeby energie na 46,2 %.

Je tedy zřejmé, že při instalaci tepelného čerpadla dojde k poměrně značné úspoře energie (ovšem v porovnání k různým druhům energie – energie tepelná v plynu a elektrická energie dodaná z externích zdrojů).

Je proto vhodnější úsporu obou druhů energie porovnávat přepočtem na primární energii podle Vyhlášky č. 78/2013 Sb.

Porovnání spotřeby energie u obou uvažovaných alternativ přepočtem na primární energii

Při porovnání obou variant dodávky tepelné energie do rodinného domu je nutno uvažovat o tom, že v případě druhé varianty s využitím tepelného čerpadla je nutno počítat s tím, že dodaná elektrická energie ze sítě se vyrábí v převážné míře v klasických elektrárnách z neobnovitelných zdrojů energie.

Přepočítávací koeficienty v tomto případě jsou: zemní plyn $f_p = 1,1$ a elektrická energie $f_p = 3,0$.

Celkem tedy po přepočtu při provozu tepelné čerpadlo + plynový kotel

$$Q_p = 17178 + 1714 = 18892 \text{ kWh/rok,}$$

Přepočet varianty 1) s plynovým kotlem na zemní plyn

$Q_{p,zp} = 15779 \times 1,1 = 17379 \text{ kWh/rok,}$ čili o 8,7% vyšší než pouze při provozu plynového kotle.

7.5 Mikrokogenerační jednotky

Jedná se v podstatě o decentralizovaný systém kombinované výroby elektrické energie a tepla (KVET). Jako mikrokogenerační jednotka se označuje zařízení, které má jmenovitý elektrický výkon do 50 kW.

Kogenerační jednotky orientované na jednotlivé obytné domy (např. jedno nebo dvougenerační rodinné domy) mají okamžitou požadovanou hodnotu elektrického výkonu až 6 kW, zatímco hodnota základního elektrického výkonu je 100 – 150 W, a střední hodnota je 400 – 600 W.

Naproti tomu je v průběhu daného času (např. jeden den) potřebný tepelný výkon zařízení pro pokrytí potřeby tepla k vytápění, přípravu teplé vody a větrání poměrně stabilní a v daném okamžiku především závislý na venkovní teplotě.

Při tom z požadavku co nejvyššího stupně využití přivedené energie do zařízení je nutno udržovat téměř stabilní výkon kogenerační jednotky bez velkých výkyvů výkonu. Jde tedy o poměrně velké rozdíly v požadavcích na elektrický a tepelný výkon KGJ.

Pro výběr kogenerační jednotky ze současné nabídky jsem s ohledem na nízkou potřebu tepelného a elektrického výkonu daného rodinného domu zvolila kogenerační jednotku Ecowill – Honda, která vychází z automobilového motoru Honda. Jedná se o tepelný motor s vnitřním spalováním zemního plynu. Parametry zvolené kogenerační jednotky Ecowill jsou uvedeny v tabulce 7.2.

Výkon elektrický - P_e	0,25	0,6	1
Výkon tepelný - P_T	0,8	2	3,25
Příkon v plynu - P_b	1,313	3,133	5
Elektrická účinnost - η_e	0,19	0,192	0,2
Tepelná účinnost - η_T	0,61	0,638	0,65
Celková účinnost - η_{cT}	0,8	0,83	0,85

Tabulka 7.2 - Parametry KJ Ecowill – Honda

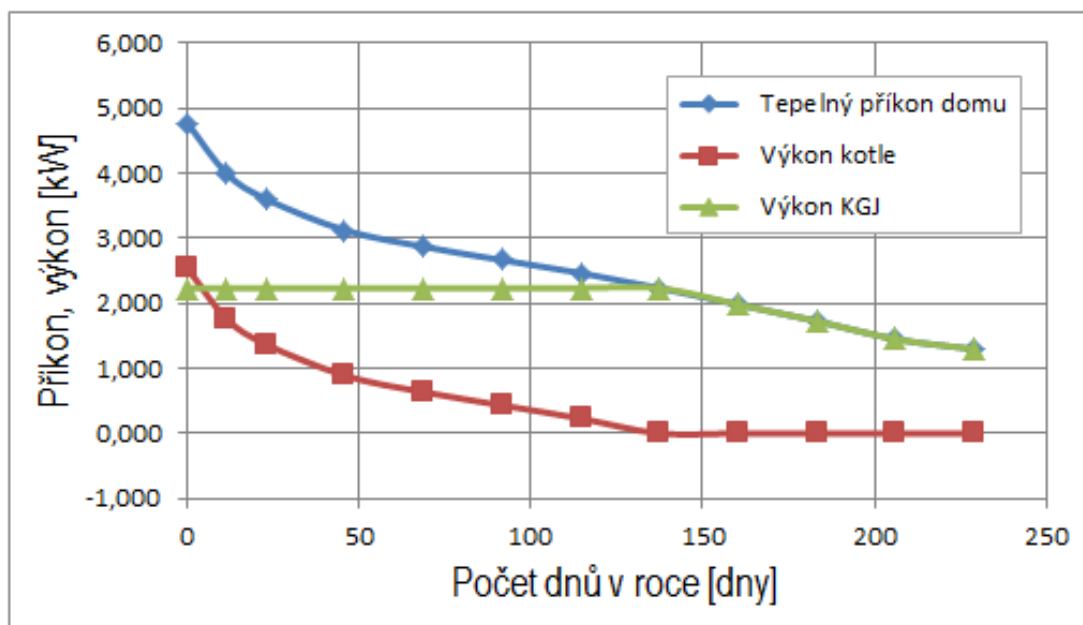
Při návrhu mikrokogenerační jednotky uvažuji dvě varianty provozu:

- 1) Kogenerační jednotka + špičkový plynový kotel,
- 2) Kogenerační jednotka + špičkový kotel + teplovzdušné ventilátory.

V obou případech špičkový kotel současně musí sloužit jako záložní kotel při výpadku kogenerační jednotky a je proto dimenzován na plný tepelný příkon do objektu. Ve druhém případě uvažují s využitím přebytku elektrické energie, která vzniká při provozu kogenerační jednotky a která se plně nevyužije pro spotřebu elektrické energie v provozu elektrických spotřebičů. V tomto případě se využije část přebytečné elektrické energie, která se v teplovzdušném ventilátoru transformuje na teplo a snižuje spotřebu energie pro špičkový plynový kotel.

1) Kogenerační jednotka + špičkový plynový kotel

Pro vyhodnocení úspory tepla, obdobně jako u tepelného čerpadla, použijí diagram trvání potřebného výkonu TČ, obrázek 7.5.



Obrázek 7.5 - Průběh trvání celkového příkonu, výkonu KGJ a plynového kotle

Při nejnižší výpočtové teplotě (tj. -15°C) pojede kogenerační jednotka s tepelným výkonem 2,235 kW. Do maximální hodnoty celkového tepelného výkonu bude doplňovat plynový kotel s výkonem 2,536 kW. Se zvyšující se teplotou okolního prostředí klesá potřebný celkový tepelný příkon.

Při této etapě jede kogenerační jednotka se stejným výkonem a snižování teploty se reguluje změnou výkonu plynového kotle. V okamžiku, kdy se výkon kogenerační jednotky rovná tepelnému příkonu, dojde k odstavení plynového kotle a další snižování tepelného příkonu se řeší snižováním tepelného výkonu kogenerační jednotky.

Mimo otopné období je kogenerační jednotka odstavena z provozu a dodávka tepla se řeší dodávkou tepla z plynového kotle.

Pro porovnání přivedené energie pro případ instalace navržené kogenerační jednotky do systému dodávky tepelné energie rodinného domu uvažují opět dvě varianty:

- 1) stávající provoz s klasickým plynovým kotlem.

Uvažují průměrnou účinnost kotle $\eta_k = 0,91$, takže energie v zemním plynu je:

$$Q_{kzp} = 15779 \text{ kWh.}$$

- 2) Provoz kogenerační jednotky v bivalentním provozu se současným klasickým plynovým kotlem na zemní plyn.

Uvažuji průměrnou účinnost kotle $\eta_k = 0,8$ (bude pracovat s nižším výkonem), takže energie v zemním plynu je

$$Q_{kzp} = 3\,901 \text{ kWh}$$

Celkovou účinnost při ustáleném provozu kogenerační jednotky (obr. 7.5 – cca 137 dnů) uvažuji $\eta_{cT} = 0,831$. V případě snížení výkonu kogenerační jednotky počítám s mírným snížením účinnosti (průměr za toto období $\eta_{cT} = 0,8$).

Hodnoty pro výpočet spotřeby energie v zemním plynu pro provoz kogenerační jednotky v ustáleném a sníženém výkonu v průběhu otopného období, jsou vyhodnoceny v DP, tabulka 10.6 a 10.7.

Spotřeba energie v zemním plynu vychází při provozu kogenerační jednotky a plynového kotle za otopné období:

$$Q_{zp,c} = Q_{KJ,zp} + Q_{k,zp} = 13\,514,6 + 3\,901,7 = 17\,416,3 \text{ kWh/rok}$$

Naopak při provozu pouze stávajícího plynového kotle, jak je uvedeno v DP kapitola 10.2, je spotřeba energie v zemním plynu:

$$Q_{zp,k} = 15\,779 \text{ kWh/rok}$$

Jde tedy o zvýšení spotřeby energie v zemním plynu o 10,3 %.

Při provozu kogenerační jednotky se však také vyrábí elektrická energie, kterou je možno pokrýt stávající spotřebu elektrické energie pro běžný provoz rodinného domu. Spotřeba elektrické energie se při tom pohybuje v hodnotách okolo:

$$Q_e = 1\,400 \text{ kWh/rok}$$

Celková spotřeba energií v zemním plynu a elektřiny z externího zdroje je tedy:

$Q_c = 15\,779 + 1\,400 = 17\,179 \text{ kWh/rok}$, potom celková energie na místě spotřeby je téměř shodná.

Současně se však musí ještě zvažovat skutečnost, že při provozu kogenerační jednotky se vyrábí elektrická energie v množství větším, než se spotřebuje přímo v obytném domě.

Přebytek vyrobené elektrické energie při vlastní spotřebě elektrické energie rodinného domu $Q_{ed} = 1\,400 \text{ kWh/rok}$ je:

$$\Delta Q_e = Q_e - Q_{ed} = 3\,437 - 1\,400 = 2\,037 \text{ kWh/rok}$$

Tento přebytek je možno teoreticky buď dodat do rozvodné sítě (po dohodě s dodavatelem elektrické energie), nebo využít pro jiné účely. (např. jak bude uvedeno dále doplňovat vytápění prostřednictvím teplovzdušných ventilátorů).

Porovnání spotřeby energie varianty č.1 přepočtem na primární energii

Porovnání provozu kogenerační jednotky a stávajícího provozu plynového kotle + dodávka elektrické energie do domu z externího zdroje provedu podobně jako v kapitole 7.4 přepočtem obou druhů energií prostřednictvím primárního faktoru.

Při provozu pouze plynového kotle je přepočet spotřebované energie na primární energii

$$\text{celkem primární neobnovitelná energie } Q_{p,zp} + Q_{e,d} = 17\,379 + 4\,200 = 21\,579 \text{ kWh/rok.}$$

Při provozu kogenerační jednotka a dodávka přebytku elektrické energie do sítě (jako maximálně možné)

Celkem přepočteno na primární zdroje

$$Q_{KJ,zp} + Q_{k,zp} - \Delta Q_e = 14\,866 - 6\,111 + 4\,292 = 13\,047 \text{ kWh/rok.}$$

Spotřeba primárních zdrojů energie se při provozu kogenerační jednotky sníží na 60,5 %.

Pokud by se přebytek elektrické energie nevyužil, bude snížení spotřeby primární energie

$$Q_{KJ,zp} + Q_{k,zp} = 14866 + 4292 = 18858 \text{ kWh/rok, tedy snížení jen na } 87,4 \text{ \%}.$$

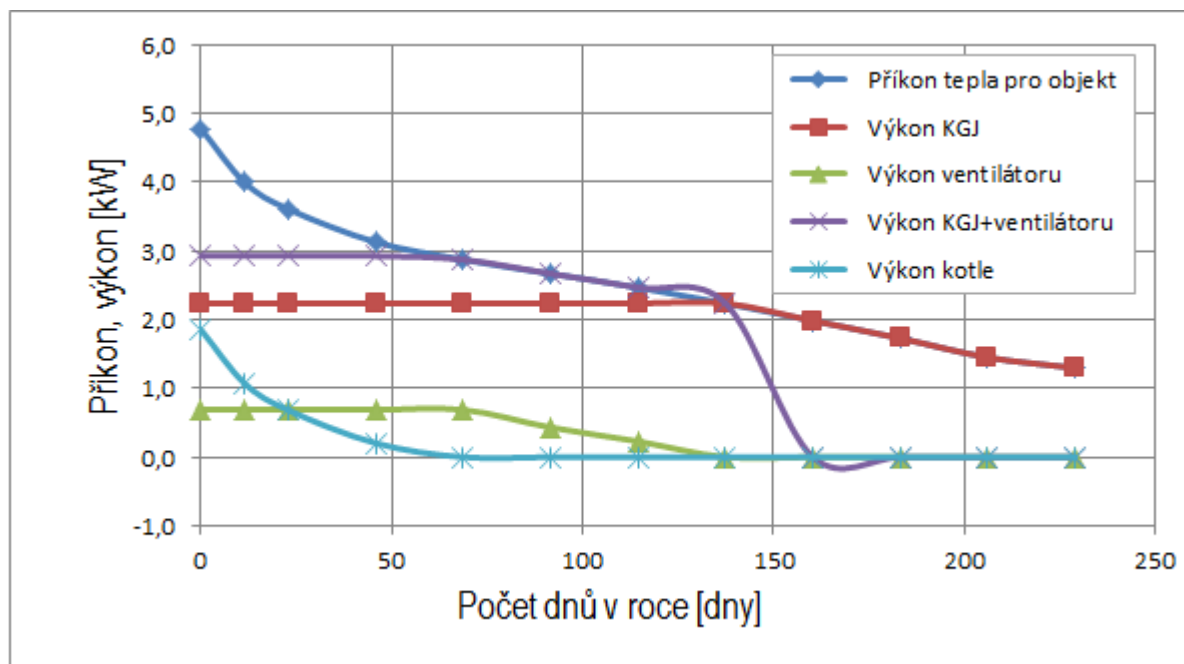
Oba uvedené případy využití přebytku elektrické energie je ovšem nutno brát jako dvě krajní meze. Oproti provozu zařízení, dodávající do rodinného domu teplo, který je poměrně rovnoměrný, je spotřeba elektrické energie velmi proměnlivá až nárazová. I při dohodnuté dodávce by bylo nutno v průběhu dne počítat s velkými výkyvy dodávky a odběru elektrické energie ze sítě.

2) Provoz kogenerační jednotky + teplovzdušný ventilátor + plynový kotel

Způsob využití přebytku elektrické energie na provoz teplovzdušného ventilátoru

Jednou z reálných možností jak celkem snadno využít určitou část přebytku vyrobené elektrické energie z kogenerační jednotky je transformace elektrické energie na teplo v příručním teplovzdušném ventilátoru např. Mini Heater K LW – 007 A. Jeho příkon je max. 400 W a je ho možno snadno napojit do elektrické zásuvky.

Budu uvažovat pro maximální dodávku tepla tímto způsobem ze dvou uvedených teplovzdušných ventilátorů. Způsob připojení v souvislosti s ostatními zdroji tepla (kogenerační jednotka + plynový kotel) je uveden z tabulky výkonů (disertační práce tabulka 10.8.) a diagramu průběhu trvání výkonů v otopném období, obrázek 7.6.



Obrázek 7.6 - Diagram trvání výkonů při provozu KGJ + kotel + teplovzdušný ventilátor

Plochy pod jednotlivými křivkami udávají množství tepla dodaného zmíněnou jednotkou do objektu za jedno otopné období.

Integrací jednotlivých ploch vychází tyto hodnoty v průběhu roku:

Celková spotřeba tepla $Q_c = 14\,359,3 \text{ kWh}$,

Teplo dodané kogenerační jednotkou $Q_{kJ} = 11\,174,9 \text{ kWh}$,

Teplo dodané teplovzdušnými ventilátory $Q_{ev} = 1\,685,1 \text{ kWh}$,

Teplo dodané plynovým kotlem $Q_k = 1\,327,7 \text{ kWh}$.

Porovnání spotřeby energie varianty č.2 přepočtem na primární energii

Porovnání provozu kogenerační jednotky s doplňkovým provozem s teplovzdušnými ventilátory, které využívají přebytek elektrické energie vyrobené kogenerační jednotkou a stávajícího provozu plynového kotle + dodávka elektrické energie do domu z externího zdroje je provedeno podobně jako v případě varianty č. 1. provozu kogenerační jednotky. V tomto případě neuvažují s dodávkou přebytku elektrické energie zpět do rozvodu.

Při provozu pouze plynového kotle je přepočet spotřebované energie na primární energii celkem

$$Q_{p,zp} + Q_{e,d} = 17379 + 4200 = 21579 \text{ kWh/rok.}$$

Při provozu kogenerační jednotka s využitím přebytku elektrické energie podle varianty č.2, je celkem na primární energii

$$Q_{p,kj} + Q_{p,ex} = 14866 + 1838,1 = 16704 \text{ kWh/rok.}$$

Dojde tedy ke snížení neobnovitelné primární energie proti provozu s plynovým kotlem a dodávkou elektrické energie z externího zdroje na kogenerační jednotku se proti současnému provozu s plynovým kotlem sníží na 77,4 %.

7.6 Využití solární energie

V oblasti bydlení má velkou šanci využití solární (sluneční) energie. Proto se také v posledních letech rychle rozvíjí využití sluneční energie pro obytné budovy, mimo jiné také v oblasti rodinných domů. Dnes již máme celou řadu obytných domů, kde se instalovaly a instalují zařízení na využití sluneční energie.

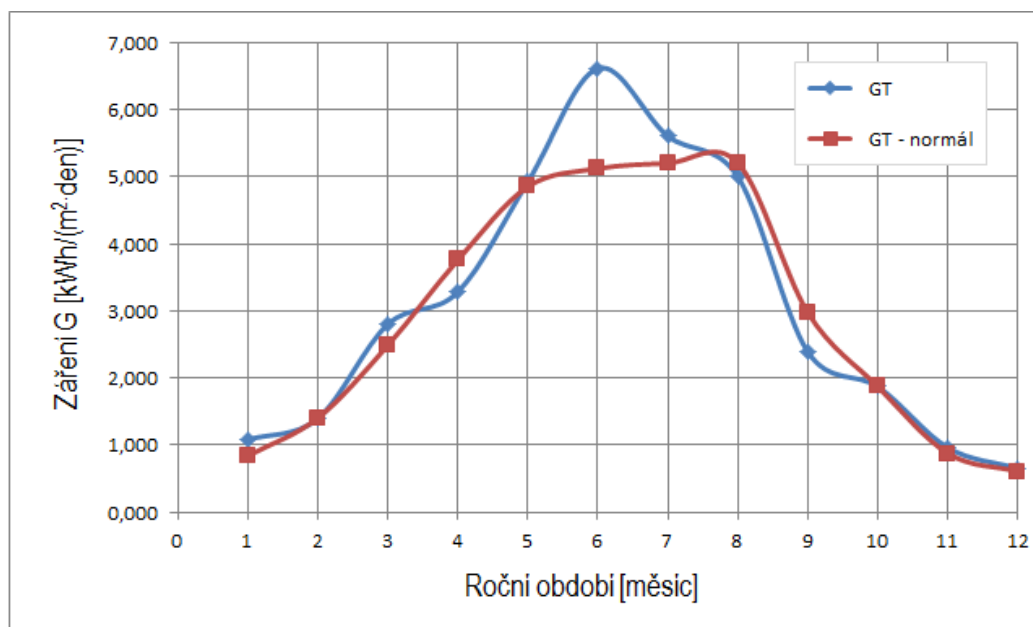
Nevýhodou je průběh potřeby využívané solární energie pro potřeby bydlení, které je často v rozporu s potřebou tepla, příp. elektrické energie pro bytové domy. Přichází zde proto do použití také problematika akumulace energie, jednak tepelné, případně i elektrické. Těmito problémy se samozřejmě možnosti využití solární energie komplikují.

Možnost využití solární energie posuzují podle provedení:

- solární panely s využitím sluneční energie k přípravě teplé vody,
- fotovoltaické panely s využitím energie k nahrazení části dodávky elektrické energie z externího zdroje

Využitelné množství sluneční energie se posuzuje podle tzv. globálního záření. Hodnoty slunečního záření průběžně sleduje a vyhodnocuje Český hydrometeorologický ústav pro jednotlivé oblasti v ČR.

Průměrné měsíční teploty a měsíční sumy globálního záření jsou např. za každý rok uveřejňovány v časopise Topenářství, instalace vždy za pololetí. Průběh hodnot globálního záření v roce 2017 v porovnání k normálu pro oblast Ostravy (Mošnov) jsem znázornila v diagramu na obrázku 7.7.



Obrázek 7.7 - Průběh globálního záření v roce 2017 a porovnání s normálem

Jak je zřejmé, hodnoty G v konkrétním roce se příliš neliší od hodnot G – normál, výjimku tvoří měsíc červen 2017, který má vyšší hodnotu než G - normál.

Solární kolektory s využitím sluneční energie k přípravě teplé vody.

Uvažuji zde s možností položení solárních kolektorů na střechu rodinného domu obrácenou směrem na jihozápad. Střecha má sklon 21° vzhledem k vodorovné poloze. Plocha střechy je ve tvaru trojúhelníka, rozměry: základna 9350 mm, výška 5360 mm

Na základě reklamní nabídky při uvažování i jiných možných variant, které se uvádí např. na Internetu, jsem zvolila nabídku firmy VITA SOLAR, s.r.o. Ostrava pro rodinný domek pro 2 až 3 osoby. Jedná se o ohřev teplé vody pomocí solárního kolektoru TS 500, výrobek Thermo/Solar, Žiar nad Hronom, s.r.o.

Rozměry: 2009 x 1259 mm, absorpční plocha 2,26 m², hmotnost 44,6 kg.

K akumulaci teplé vody bude zapotřebí zásobník o obsahu 160 litrů.

Výpočet tepelného výkonu solárního kolektoru (beze ztrát rozvodem tepla) je proveden podle rovnice 7.6:

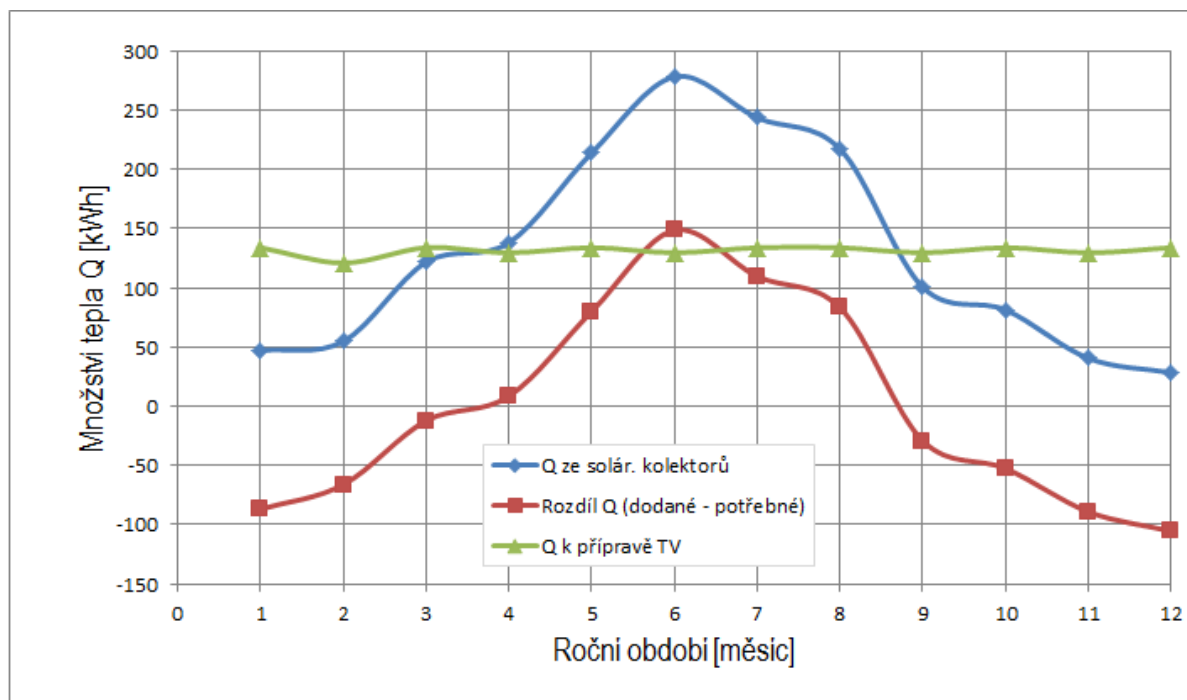
$$P_p = \frac{A_k \cdot 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_T \cdot (1-p) \cdot 1000}{f \cdot 24} \quad [\text{W}] \quad (7.6)$$

kde A_k je absorpční plocha kolektoru [m²],
 η_k optická účinnost je 0,81 [-],
 H_T dávka slunečního ozáření [kWh/(m²·den)],
 p přírážka na ztráty je 15% [-],
 f koeficient solárního pokrytí je 1,0 [-]

V disertační práci jsem uvedla výpočet získaného tepla tepelným kolektorem v jednotlivých měsících roku a v tabulce 10.11 DP jsou hodnoty:

- výkon kolektoru P_p ,
- výpočtová potřeba tepla pro přípravu teplé vody Q_{TV} ,
- množství tepla dodaného kolektorem Q_p ,
- nedostatek, příp. tepelné energie ΔQ_p v jednotlivých měsících roku.

Z výše uvedené tabulky lze sestavit diagram průběhu uvedených veličin využití sluneční energie v tepelném kolektoru v porovnání s průběhem spotřeby tepla pro přípravu teplé vody v průběhu roku, obrázek 7.8.



Obrázek 7.8 – Průběh dodaného tepla Q_p a potřebného tepla Q_{TV} v roce

Úspora energie při použití solárního kolektoru proti klasickému plynovému kotli

Na základě výpočtů v disertační práci vychází:

- spotřeba tepla na přípravu teplé vody ve stávajícím kotli 1 833,5 kWh,
- spotřeba tepla po instalaci solárního kolektoru 1 419 kWh,

Tedy pro přípravu teplé vody snížení spotřeby energie v plynu na 77,4 %.

Pokud se jedná o snížení celkové spotřeby tepla v plynu je:

- výpočtové množství zemního plynu 15 779 kWh,
- snížení spotřeby zemního plynu instalací kolektoru 441,6 kWh,
- spotřeba zemního plynu po instalaci kolektoru 15 337,4 kWh,

Pro celkovou potřebu tepla v zemním plynu snížení na 97 %.

Porovnání spotřeby energie při instalaci solárního kolektoru přepočtem na primární energii

Přepočet výpočtové potřeby zemního plynu pro kotel $Q_{p,zp} = 15\,779 \times 1,1 = 17\,379 \text{ kWh}$,

Přepočet spotřeby plynu po instalaci kolektoru $Q_{p,zp} = 15\,337,4 \times 1,1 = 16\,871,1 \text{ kWh}$,

tedy také snížení potřeby neobnovitelné primární energie na 97 %.

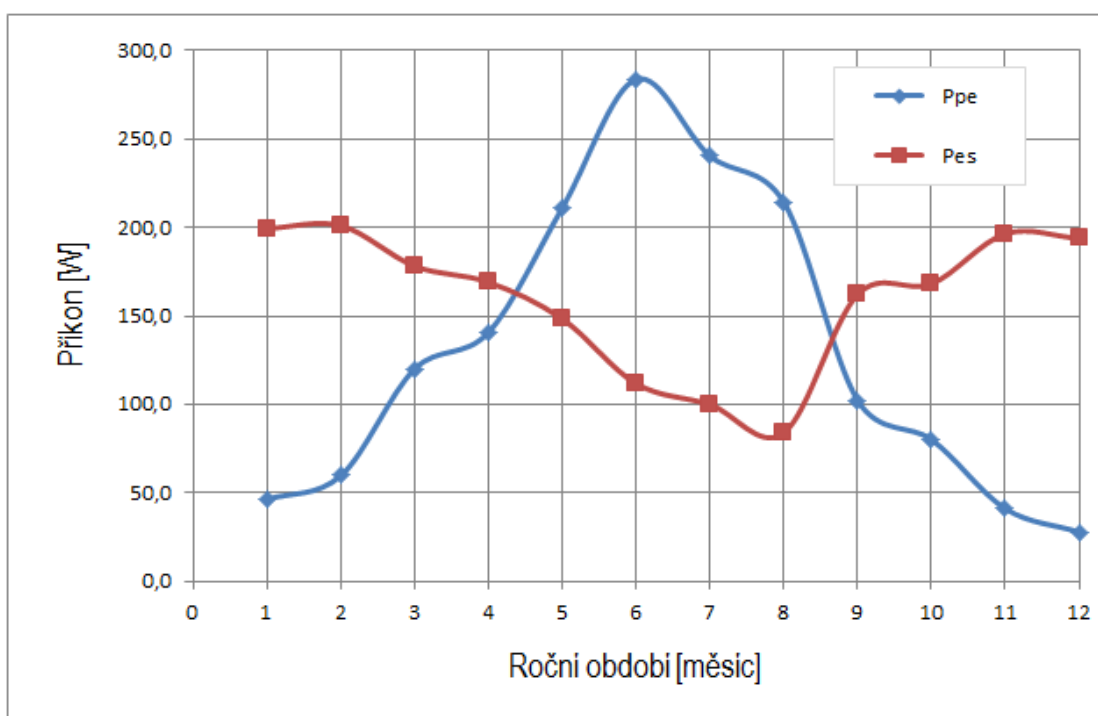
Je ovšem třeba upozornit na to, že v průběhu mimotopné sezóny je podle tab.10.11 v DP přebytek tepelné energie z panelu $\Delta Q_p = 429,8 \text{ kWh}$, kterou je možno, příp. v létě, využít pro ohřev vody v bazénu.

Fotovoltaika - panely s využitím sluneční energie k výrobě elektrické energie.

Jako druhou možnost využití sluneční energie uvažuji umístění fotovoltaických panelů na stejnou střechu rodinného domu jako v předchozím případě.

Dalším průzkumem a výběrem jsem zvolila 8 fotovoltaických polykrystalických panelů Jinko Solar. Rozměry panelu jsou $1650 \times 992 \text{ mm}$, účinnost 16,8 %.

Také v tomto případě můžeme stanovit výkon panelů podle rovnice 7.6 a celkovou vyrobenou elektrickou energii z fotovoltaických panelů v jednotlivých měsících roku a porovnat se spotřebovanou elektrickou energií ze solárních panelů, obrázek 7.9.



Obrázek 7.9 – Průběh příkonu z fotovoltaických panelů a z externího zdroje

Jak je z diagramu zřejmé, v zimním období (leden až duben a září až prosinec) nepokrývají solární panely plně spotřebu elektrické energie rodinného domu, naopak v letním období (květen až srpen) je elektrické energie dodané ze solárních panelů přebytek.

Úspora energie při použití solárního panelu proti plné dodávce elektrické energie z externího rozvodu:

- 1) Stávající provoz s dodávkou elektrické energie z externího rozvodu.
Roční spotřeba elektrické energie je 1 393 kWh.
- 2) Provoz se solárními panely.
Dodaná elektrická energie z externího zdroje je 616 kWh.

Snížení spotřeby elektrické energie z externího zdroje na 44%.

Porovnání spotřeby energie při instalaci fotovoltaických panelů s přepočtem na primární energii:

- Přepočet spotřeby elektr. energie z externího zdroje: $Q_e = 1393 \times 3,0 = 4\,179 \text{ kWh}$
- Přepočet spotřeby elektr. energie po instalaci panelů: $Q_{p,zp} = 616 \times 3,0 = 1\,848 \text{ kWh}$

Dojde tedy ke snížení spotřeby neobnovitelné primární energie na 44 %.

8 Energetické a ekonomické vyhodnocení možných alternativ

V této kapitole je provedeno porovnání dříve uvedených variant jednak s hlediska předpokládané spotřeby jednotlivých druhů energie dodaných do obytného domu, jednak s hlediska spotřeby obnovitelných a neobnovitelných primárních zdrojů a k ekonomické náročnosti a efektivnosti navržených řešení.

V další části práce je provedeno orientačně ekonomické porovnání jednotlivých variant, vzhledem k současnému stavu dodávky energie v zemním plynu a energie elektrické z externích zdrojů.

8.1 Porovnání energetické náročnosti jednotlivých variant

V této kapitole je porovnání energetické náročnosti možných variant řešení jako hodnoty vypočtené roční spotřeby zemního plynu a elektrické energie na vstupu do objektu. Podrobné výpočty jsou shrnuty do tabulky 8.1.

Zdroj energie	Druh energie	Vstup do objektu kWh	Z primárních zdrojů kWh
Stávající - klasický kotel	zemní plyn	15 779	17 357
	elektrická energie	1 400	4 200
Kondenzační kotel	zemní plyn	12 639	13 903
	elektrická energie	1 400	4 200
Tepelné čerpadlo + kotel	zemní plyn	1 558	1 714
	elektrická energie	7 126	21 378
Mikrokogenerace + kotel	zemní plyn	17 316	19 048
	elektrická energie	521,6	1565
Solární kolektor + kotel	zemní plyn	15 337	16 871
	elektrická energie	1 400	4 200
Solární panel + kotel	zemní plyn	15 779	17 357
	elektrická energie	616	1 848

Tabulka 8.1 – Porovnání spotřeby energie pro různé varianty energetických zdrojů

8.2 Ekonomické hodnocení

Při rozhodování o výše uvedených možných změnách v zásobování obytného domu je nutno se rozhodovat z hlediska nákladů na pořízení uvažovaného zdroje energií a nákladů na provoz v porovnání se současným stavem.

Prakticky se tomu říká návratnost investice. Prostá návratnost se vyjadřuje tím, za jakou dobu se úsporami při provozu navrženého zařízení zaplatí investice peněz do instalace zařízení vložená.

Zdroj energie	Celkem Kč/rok	Rozdíl Kč/rok	Úspora za 5 let Kč	Úspora za 10 let Kč	Investice Kč
Stávající - klasický kotel	26 542,1	0			
Kondenzační kotel	22 614,0	3 928,14	19 640,70	39 281,40	37 600
Tepelné čerpadlo + kotel	36 184,0	- 9 642,00			180 259
Mikrokogenerace + kotel	24 196,8	2 345,36	11 726,79	23 453,59	125 785
Solární kolektor + kotel	21 721,0	4 821,09	24 105,44	48 210,88	67 500
Solární panel + kotel	22 732,7	3 809,46	19 047,28	38 094,56	186 000

Tabulka 8.2 – Úspora nákladů jednotlivých variant řešení proti současnému stavu

Jako konkrétní zájemce na realizaci uvedených variant s ohledem na nepředvídatelnost budoucnosti, uvažuji, že doba návratnosti by měla být minimálně 5 a maximálně 10 let. Podrobné výpočty jsou shrnuty do tabulky 8.2.

8.3 Celkové zhodnocení z energetického a ekonomického hlediska

Na základě hodnot, uvedených v tabulkách 8.1 a 8.2, lze porovnat uvažované varianty zásobování teplem a elektrickou energií ve sledovaném RD. Z hlediska energetického rozboru vyplývá jednoznačně, že je výhodné nahradit stávající klasický kotel kotlem kondenzačním.

Dále z hlediska porovnání spotřeby primární energie je pro zásobování RD teplem a elektrickou energií nejvýhodnější varianta kondenzační kotel + elektrická energie z externího zdroje. Téměř stejná je varianta kondenzační kotel + solární panel.

Obdobně je to i v případě porovnání ročních nákladů za energie, zemní plyn + elektrická energie z externího zdroje. Nevýhodou varianty kondenzační kotel + solární panel jsou vysoké pořizovací náklady.

Jako další a tedy třetí varianta, z energetického a ekonomického porovnání, je varianta solární kolektor + kondenzační kotel. Zde vychází o něco nižší roční náklady za energii, ale o něco vyšší náklady na pořízení zařízení. Vyšší vychází i spotřeba primární energie, a to cca o 16 % proti první variantě, kondenzační kotel + elektrická energie z externího zdroje.

Ostatní uvedené varianty, které jsou dále uvedeny v tabulkách 8.1 a 8.2, jsou méně výhodné, a to jednak s ohledem na vysoké pořizovací náklady a také s ohledem na roční vyúčtování za odebranou elektrickou energii a zemní plyn.

9 Závěr

V předložené práci na téma „Energetická náročnost obytných domů“ se zabývám výpočty a hodnocením spotřeby energií obecně u obytných domů i konkrétně ve vztahu k určitému vybranému rodinnému domu.

V obecné části práce jsou probrány metody stanovení spotřeby tepelné energie pro vytápění, přípravu teplé vody a větrání a způsoby centralizované a decentralizované výroby tepla.

V druhé části práce jsou uvedeny charakteristické údaje konkrétního rodinného domu, který jsem vybrala pro zpracování a vyhodnocení výše uvedeného tématu z teoretického i praktického hlediska.

V této části práce je uveden výpočet potřeby tepla na základě metody tepelné ztráty tzv. obálky rodinného domu. Pro porovnání vypočtených výsledků je obdobným způsobem vypočtena tepelná ztráta referenční budovy stejných rozměrů ve smyslu vyhlášky č. 78/2013 Sb. a podle ČSN 73 0540-2 s hodnotami součinitelů prostupu tepla – požadované a doporučené. Celková výpočtová spotřeba tepla pro daný rodinný dům je 4,77 kW.

V další části práce jsem provedla porovnání vypočtených hodnot se skutečností na základě experimentu sledování důležitých parametrů v průběhu jednotlivých let a zejména v letech 2010 a 2014.

Výsledky pokusů se celkem dobře shodují s výpočtem. Výsledkem jsou také energetické charakteristiky daného rodinného domu.

V kapitole 8 se věnuji zcela nově zpracovanému tématu Dynamika a tepelná stabilita vytápění. Vypracovala jsem toto téma teoreticky a ověřila platnost experimentem chování teplotního průběhu při přerušeném vytápění bez větrání a opětném zátoku. Výsledky pokusu ukazují velmi dobrou shodu navržené teorie se skutečností. Je zde také zahrnuta teorie s větráním při různé intenzitě větrání a různé akumulaci zdiva a vnitřního vybavení.

V kapitole 9 a 10 uvádím možnosti jiných zdrojů dodávky tepla a elektrické energie a je provedeno porovnání se stávajícím stavem dodávky energií, tj. plynový kotel a elektrická energie z externího zdroje. Jako možné zdroje energie je uvedeno tepelné čerpadla, mikrokogenerace a využití sluneční energie pomocí solárních kolektorů a fotovoltaických panelů.

V kapitole 11 jsem provedla energetické a ekonomické vyhodnocení jednotlivých uvažovaných variant.

Z hodnocení vychází, že u malých domů z hlediska energetického i ekonomického je nejvhodnější varianta náhrada stávajícího kotle kotlem kondenzačním pro dodávku tepla a dodávka elektrické energie z externího zdroje, případně kombinace plynového kotle a solárního kolektoru k přípravě teplé vody.

Domnívám se, že výsledky mé práce by bylo možno využít pro zobecnění hodnocení energetické náročnosti kategorie malých obytných budov. V tématice tepelné stability domů je možno pokračovat dalším řešením navržené teorie na základě různé akumulace stavby (stavby lehké a těžké) a ve smyslu využití pro hospodárnou regulaci vytápění domu.

9 Conclusion

The presented thesis performs calculations and evaluation of consumption of energies in family houses in general and specifically in relation to the selected concrete family house.

In the general section of the thesis, I discuss methods for determination of thermal energy for heating, hot water supply, ventilation as well as modalities of centralized and decentralized heat production.

In the second part of the thesis, I provide characteristic data for the concrete family house that has been selected for processing and evaluation of the above topic from the theoretical as well practical perspectives.

In this part of the thesis, I present a calculation of heat demand based on the method of thermal losses of the so-called family house jacket. For a comparison of calculated results, thermal loss of a reference building of identical dimensions is calculated according to the regulation No. 78/2013 and the ČN 73 0540-2 using required as well as recommended values of heat permeation coefficients. The total heat consumption of the house was calculated at 4.77 kWh.

In the further part of the thesis, I compared the calculated and actual values based on an experimental study of important parameters during several years and in particular in the years 2010 and 2014.

The experimental results were found in line with the calculations. The presented result includes energetical characteristics of the concrete family house.

In Chapter 8, I address an entirely newly conceived topic “Dynamics and Thermal Stability of Heating”. I have elaborated this topic theoretically and validated it using an experiment of thermal performance progress by interrupted heating without ventilation and of reheating. The experiment results show a very good concurrence of the proposed theory with the reality. The ventilation theory with variable ventilation intensity is included as well and accumulation and internal equipment.

In Chapters 9 and 10, I present possibilities of other sources of heat and electric energy supply and provide comparison with the existing situation of energy supply, i.e. gas boiler and electric energy from an external source. Various possible energy sources include heat pump, microgeneration as well as use of solar energy with solar collectors and photovoltaic cells.

In Chapter 11, I carried out energetical as well as economic evaluation of the particular considered options.

It follows from the evaluation that the most beneficial option appears to be the replacement of the existing boiler by a condensing boiler for heat supply and provision of electric energy from an external source, or eventually a combination of a gas boiler with a solar collector for hot water preparation.

I believe that the results of my thesis could be applicable for generalization of the energy intensity evaluation in the category of small residential buildings. It is possible to pursue the topic of thermal stability of buildings by further elaboration of the proposed theory on grounds of flexible accumulation of structures (light and heavy) and in regard of its application for a cost-effective regulation of heating of the house.

Seznam použité literatury

- [1] Cihlář a kol.: Technická zařízení budov. Ústřední vytápění I. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 1998.
- [2] Cikhart a kolektiv: Soustavy centralizovaného zásobování teplem, SNTL Praha, 1977.
- [3] Dvořák, Brož: Teplárenství a potrubní sítě, skripta ČVUT Praha, 1993
- [4] Hamm O.: Nízkoenergetické domy. Grade Publishing, s.r.o. Praha, 1999.
- [5] Hejhálek J.: Tepelná akumulace a teplotní setrvačnost u dřevostaveb. Staveb. 3000.cz, 2006.
- [6] Chybík J.: Pasivní domy a tepelná stabilita v zimním období. TZB- info, 2006
- [7] Kaminský J.: Vrtek M.: Obnovitelné a alternativní zdroje energie. Interní učební texty. Katedra energetiky VŠB–TUO, 2002.
- [8] Krbek, Polesný: Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice. PC –DIR Real,s.r.o. Brno 1999.
- [9] Kuta V. Česelský J.: Regenerace a revitalizace panelového bytového fondu. Sborník konference „Racionalizace vytápění a úspory energií.“ Ostrava 6.10.2005, VŠB–TUO.
- [10] Kysela, Tomčala: Ekonomika v energetice. VŠB-TU Ostrava, 2000.
- [11] Kysela, Míka, Kyselová: Teplárenství. Interní učební texty. VŠB–TUO, 2011.
- [12] Kysela L.: Plynárenské rozvody a spotřebiče. Poznámky k přednáškám. VŠB-TUO, 2008.
- [13] Říman A.: Obnova bytového fondu. Regenerace a revitalizace panelového bytového fondu. Sborník konference „Racionalizace vytápění a úspory energií.“
- [14] Srdečný K.: Energeticky soběstačný dům. ERA group, s.r.o. Brno, 2009.
- [15] Šourek B.: Tepelná čerpadla. Příručka pro projektanty. Quantum, a.s. Vyškov, 2010.
- [16] Šourek B.: Solární systémy. Příručka pro projektanty. Quantum, a.s. Vyškov, 2010.
- [17] Toman Z.: Racionalizace vytápění při regeneraci bytového fondu. Sborník konference „Racionalizace vytápění a úspory energií.“ Ostrava 6.10.2005, VŠB–TUO.
- [18] Toman Z.: Termovizní měření pláště budov. Sborník konference „Snižování energetické náročnosti staveb“. VŠB – TU Ostrava 1995.
- [19] Urbánek a kol.: Teplárenství – skripta VŠSE Plzeň 1990
- [20] Vavříčka R.: Kondenzační kotle. Příručka pro projektanty. Quantum, a.s. Vyškov, 2010.
- [21] Vrtek M.: Sluneční energie. Učební text katedry energetiky, FS, VŠB-TUO, 2012.
- [22] Vlach a kolektiv: Zásobování teplem a teplárenství, SNTL Praha, 1989
- [23] ČSN 38 3350 Zásobování teplem. Všeobecné zásady.
- [24] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění
- [25] ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu.
- [26] ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov, Část 1: Terminologie.
- [27] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, Část 2: Požadavky.
- [28] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov, Část 4: Výpočtové metody.
- [29] ČSN 06 0220 Tepelné soustavy v budovách – Dynamické stavy.
- [30] ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení.
- [31] Vyhláška č. 78/2013 Sb. ze dne 1. dubna 2013 o energetické náročnosti budov.

Autor:	Mgr. Sylva Kyselová
Katedra, institut:	Katedra energetiky 361
Název:	Regenerace, revitalizace a energetická náročnost obytných budov
Místo, rok, vydání:	Ostrava, 2019, 1. vydání
Počet stran:	43
Vydala:	VŠB-Technická univerzita Ostrava
Tisk:	Ediční středisko VŠB-TUO
Náklad:	24 ks

Neprodejné

ISBN 978-80-248-4303-2